



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

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

**“ESTUDIO DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO EN EL
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SMAW EN EL HIERRO FUNDIDO
GRIS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA
JUNTA SOLDADA.”**

AUTOR:

Egdo. Oscar Fabián Tene Salazar

TUTOR:

Ing. Mg. Segundo Espín

AMBATO-ECUADOR
2013

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, bajo el tema “ESTUDIO DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO EN EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SMAW EN EL HIERRO FUNDIDO GRIS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA JUNTA SOLDADA”, desarrollado por el señor Oscar Fabián Tene Salazar, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal Examinador designado por el Consejo Directivo de esta Facultad.

EL TUTOR

.....
Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada “ESTUDIO DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO EN EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SMAW EN EL HIERRO FUNDIDO GRIS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA JUNTA SOLDADA”, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuesta son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de la presente investigación de grado.

EL AUTOR

.....
Egdo. Oscar Fabián Tene Salazar
C.I. 180411708-1

DEDICATORIA

“El Señor es quien da la sabiduría; la ciencia y el conocimiento brotan de sus labios”
Proverbios 2.6

El presente trabajo se lo dedico a Dios por poner las personas correctas en mi camino, por llenar los vacios en mi vida que mis propios errores causaron y enseñarme a cada momento su inmensa fidelidad, y sobre todo porque teniendo el poder de quitarme todo aquel día me brindo una nueva oportunidad de vivir.

A mi Madre Marthita que desde niño cuidó y corrigió mis pasos enseñándome el verdadero valor de la vida. A mi Padre José por ser siempre el incondicional amigo y estar siempre a mi lado, a los dos gracias porque me enseñaron el valor del amor, la verdad, la humildad y el esfuerzo y sobre todo nunca perder la fe y creer en mí.

A mis hermanos Marcelo, Víctor, Carlos y Blanca, por todas sus alegrías y tristezas compartidas, por ser ejemplo de superación y esfuerzo ante las adversidades y a mi sobrina por su amor inocente.

A la persona que un día llego a mi vida y me ha dado su amor incondicionalmente y que siempre ha creído en mi, brindándome su amor, paciencia y confianza y que ha estado conmigo en las buenas y malas circunstancias de la vida siendo un ejemplo.

Gracias Ale.

A mi amigo Geova que siempre ha estado pendiente de mi guiándome he instruyendo en el camino de Dios.

Y a mis mejores amigos Fernando y David que han demostrado ser un ejemplo de superación y que me han dado su amistad compartiendo cada momento de locuras de alegrías y tristeza aprendiendo cada cosa de la vida.

“Tras un sueño hay una realidad, tras un nuevo amanecer un nuevo día, en un mundo disfrazado de apariencia e indiferencia crece una esperanza y un sueño de muchos colores, y sé que todo lo puedo conseguir aun más de lo que puedo imaginar si Jesús está conmigo.”

Oscar

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento reiterativo a Dios por hacer posible mis sueños.

- ❖ Al Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos mi tutor por sus enseñanzas, sugerencias y por su tiempo brindado a través del presente proyecto de investigación.
- ❖ A los profesores y autoridades de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, por haberme formado y transmitirme sus conocimientos, gracias a todos los profesores que fueron parte de mi formación profesional gracias por sus sabias enseñanzas.
- ❖ Al Ing. Mg. Diego Vargas por compartirme sus sabios conocimientos y consejos en la parte técnica y humana.

No solo esto no hubiera sido posible si no por todos los familiares, personas y amigos, que estuvieron a mí alrededor desde el comienzo, algunos todavía siguen hasta hoy.

*Gracias a todos
Y que Dios los Bendiga*

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Página del título.....	I
Página de aprobación por el tutor.....	II
Página de autoría de la Tesis.....	III
Página de dedicatoria.....	IV
Página de agradecimiento.....	V
Índice de Contenidos.....	VI
Índice de gráficos y tablas.....	X
Simbología.....	XV
Resumen Ejecutivo.....	XVI

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

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.....	3
1.2.4 Formulación del problema.....	4
1.2.5 Preguntas Directrices.....	4
1.2.6 Delimitación.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	7
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	11
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	12
2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	13
2.4.1 Temperatura de precalentamiento en el procedimiento de soldadura SMAW En el hierro fundido gris	14
2.4.2 Métodos de precalentamiento precedente a la soldadura.....	40
2.4.3 Soldabilidad.....	44
2.4.4 Hierros fundidos grises	46
2.4.5 Efectos de los elementos de aleación en las fundiciones.....	54
2.4.6 Ingeniería de Soldadura.....	60
2.5 HIPÓTESIS.....	73
2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.....	73
2.6.1 Variable Independiente.....	73
2.6.2 Variable Dependiente.....	73
2.6.3 Término de relación.....	73

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	74
3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	75
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	75
3.3.1 Población o universo.....	75
3.3.2 Muestra.....	75
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	76
3.4.1 Variable Independiente.....	76
3.4.2 Variable Dependiente.....	77
3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	78
3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	78
3.6.1 Plan que se empleó para procesar la información recogida.....	79

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL.....	80
4.1.1 Proceso de Investigación.....	80
4.1.2 Presentación de Resultados.....	82
4.1.3 Evaluación del hierro fundido gris adquirido de fábrica.....	84
4.1.4 Ensayo metalográfico material base.....	85
4.1.5 Ensayo de tracción del material base.....	88
4.1.6 Ensayo de dureza del material base.....	93
4.1.7 Composición química del material base.....	94
4.1.8 Propiedades de la fundición gris según el diagrama de Maurer.....	95
4.1.9 Propiedades de la fundición gris según el diagrama de Norbury.....	96
4.1.10 Comparación del tipo de grafito en una fundición de hierro gris.....	97
4.1.11 Comparación de la clase de fundición de hierro gris.....	99
4.1.12 Caracterización del material base.....	101
4.1.13 Consideraciones para la soldadura del hierro fundido gris.....	102
4.1.13 Evaluación técnica de las probetas soldadas de hierro fundido gris utilizando diferentes temperaturas de precalentamiento.....	107
4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	220
4.2.1 Interpretación de resultados de los ensayos a tracción.....	220
4.2.2 Interpretación de los resultados metalográficos.....	227
4.2.3 Interpretación de los resultados del ensayo de dureza.....	235
4.2.4 Interpretación de los resultados del ensayo de impacto.....	238
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	240
4.3.1 Influencia de la temperatura de precalentamiento en la resistencia a la tracción.....	240
4.3.2 Influencia de la temperatura de precalentamiento en propiedades del grafito.....	241
4.3.3 Influencia de la temperatura de precalentamiento en la matriz ferrito - perlítica.....	242
4.3.4 Influencia de la temperatura de precalentamiento en la dureza de la junta soldada.....	243
4.3.5 Influencia de la temperatura de precalentamiento en la resistencia al impacto de la junta soldada.....	243

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.....	245
5.2 RECOMENDACIONES.....	250

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS.....	253
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	254
6.3 JUSTIFICACIÓN.....	255
6.4 OBJETIVOS.....	256
6.4.1 Objetivo General.....	256
6.4.2 Objetivos Específicos.....	256
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	257
6.6 FUNDAMENTACION.....	257
6.6.1 Caracterización del material base.....	258
6.6.2 Determinación de los componentes microestructurales en la junta soldada.....	260
6.6.3 Cálculos del ensayo a tracción.....	257
6.6.4 Resultados ensayos de dureza.....	262
6.6.5 Resultado ensayo impacto.....	262
6.7 METODOLOGÍA.....	263
6.8. ADMINISTRACIÓN.....	285
6.8.1 Costos de la investigación.....	285
6.8.2 Costos de la soldadura.....	286
6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	288

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 2.1: Categorías Fundamentales.....	13
Figura 2.2: Esquema del proceso	15
Figura 2.3: Penetración obtenida en función de la polaridad.....	17
Figura 2.4: Partes de un portaelectrodo.....	18
Figura 2.5: Electrodo desnudo y electrodo revestido.....	25
Figura 2.6: Clasificación del electrodo según el revestimiento.....	21
Figura 2.7: Longitudes de arco normales para un electrodo de 4 [mm].....	23
Figura 2.8: Desplazamiento de la curva.....	34
Figura 2.9: Determinación de la temperatura de precalentamiento.....	39
Figura 2.10: Ancho de banda en Tratamientos Localizados para conseguir el relevo de las Tensiones Residuales.....	42
Figura 2.11: Hojuelas de grafito en el hierro fundido gris.....	47
Figura 2.12: Influencia del contenido de C y Si.....	48
Figura 2.13: Tipos de hojuelas en los hierros grises.....	50
Figura 2.14: Fundiciones Dependiendo del proceso de enfriamiento.....	54
Figura 2.15: Efecto de los elementos de aleación en las propiedades de una fundición gris.....	58
Figura 2.16: Típico diagrama T.T.T para una fundición gris de bajo silicio.....	59
Figura 2.17: Barra antes de aplicarle la fuerza.....	61
Figura 2.18: Curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación.....	63
Figura 2.19: Obtención del límite elástico al 0.2%.....	65
Figura 2.20: Tensión transversal rectangular de la pieza de prueba (Platina)....	68
Figura 2.21: Ensayo de dureza Brinell y Rockwell.....	70
Figura 4.1: Secuencia de la investigación de la soldadura del hierro fundido...	81
Figura 4.2: Probeta del ensayo de análisis químico (Método de espectrometría)	94
Figura 4.3: Diagrama de Maurer para fundiciones de hierro.....	95
Figura 4.4: Diagrama de Norbury para fundiciones de hierro.....	96
Figura 4.5: Junta recomendada por la norma AWS D11.2.....	102
Figura 4.6: Probeta de Tensión transversal rectangular (Platina).....	103
Figura 4.7: Procedimiento: Efecto del carbono equivalente en la temperatura de precalentamiento para el no agrietamiento para fundiciones de hierro.....	106

Figura 4.8: Comparación de la carga máxima vs las Temperaturas de precalentamiento.....	223
Figura 4.9: Comparación del % de elongación vs las Temperaturas de precalentamiento.....	224
Figura 4.10: Porcentaje de Reducción de área vs las Temperaturas de precalentamiento.....	225
Figura 4.11: Resistencia última a la tracción vs las Temperaturas de precalentamiento.....	226
Figura 4.12: Agrupación de grafito.....	228
Figura 4.13: Tamaño de grafito.....	229
Figura 4.14: Porcentaje de Grafito en estructura del Metal Base vs las Temperaturas de precalentamiento.....	232
Figura 4.15: Porcentaje de Grafito en estructura de la ZAT vs las Temperaturas de precalentamiento.....	232
Figura 4.16: Porcentaje de Matriz Ferrito-Perlítica en el Material Base vs las Temperaturas de precalentamiento.....	233
Figura 4.17: Porcentaje de Matriz Ferrito-Perlítica en la ZAT vs las Temperaturas de precalentamiento.....	233
Figura 4.18: Porcentaje de Carburo en el Metal Fundido vs las Temperaturas de precalentamiento.....	234
Figura 4.19: Porcentaje de Matriz Dendrítica en el Metal fundido vs Temperaturas.....	234
Figura 4.20: Metal Fundido, Dureza HB vs Temperaturas de precalentamiento.....	236
Figura 4.21: Intercara, Dureza HB vs Temperaturas de precalentamiento.....	236
Figura 4.22: ZAT, Dureza HB vs Temperaturas de precalentamiento.....	237
Figura 4.23: Material Base, Dureza HB vs Temperaturas de precalentamiento.....	237
Figura 4.24: Energía de Impacto vs Temperaturas de precalentamiento.....	239
Figura 4.25: Resistencia al impacto vs Temperaturas de precalentamiento.....	239
Figura 4.26: Relación entre Sut [ksi] vs Resistencia al impacto [J/cm ²].....	244
Figura 6.1: Componentes microestructurales en el metal base de la junta soldada con precalentamiento a 370 °C.....	258
Figura 6.2: Componentes microestructurales en la ZAT de la junta soldada con precalentamiento a 370 °C.....	259
Figura 6.3: Componentes microestructurales en el metal fundido de la junta soldada con precalentamiento a 370 °C.....	259
Figura 6.4: Curva esfuerzo vs deformación en la probeta NN soldada con precalentamiento a 370°.....	260
Figura 6.5: Corte de probetas.....	266
Figura 6.6: Lijadora de desbaste.....	266

Figura 6.7: Pulido metalográfico.....	267
Figura 6.8: Ataque Químico y secado de probetas.....	267
Figura 6.9: Evaluación de la microestructura.....	268
Figura 6.10: Microestructura, hierro fundido gris sin ataque.....	268
Figura 6.11: Probeta sin análisis químico.....	269
Figura 6.12: Probeta analizada químicamente.....	269
Figura 6.13: Banco de lijas.....	270
Figura 6.14: Durómetro.....	271
Figura 6.15: Probeta ensaya en el durómetro.....	271
Figura 6.16: Probetas de ensayo a tracción.....	272
Figura 6.17: Maquina Universal para ensayos a tracción.....	273
Figura 6.18: Grafico esfuerzo – deformación.....	274
Figura 6.19: Juntas sugeridas con penetración completa y parcial para Hierros fundidos por AWS.....	276
Figura 6.20: Hierro fundido gris clase 30, Junta Fresada con un espesor de 8 [mm].	277
Figura 6.21: Electrodo de soldadura AWS A5.15 ENi-CI.....	278
Figura 6.22: Horno de resistencias eléctricas.....	279
Figura 6.23: Introducción de probetas al horno.....	280
Figura 6.24: Pre calentamiento de probetas en horno.....	280
Figura 6.25: Calibración de la máquina de soldar.....	281
Figura 6.26: Control de temperatura mediante el pirómetro.....	283
Figura 6.27: Soldadura de probetas.....	283
Figura 6.28: Introducción en arena de probetas soldadas.....	284
Figura 6.29: Geometría de la junta.....	286

TABLAS

Tabla 2.1: Comparación entre soldadura de diferentes polaridades.....	16
Tabla 2.2: Orientaciones de los electrodos y técnicas de soldeo típicas en el soldeo manual con electrodos revestidos para aceros al carbono.....	24
Tabla 2.3: Transformaciones de la microestructura del hierro fundido.....	39
Tabla 2.4: Métodos de precalentamiento.....	40
Tabla 2.5: Tamaños de hojuelas.....	50
Tabla 2.6: Designación y propiedades de los hierros fundidos grises.....	52
Tabla 2.7: Clasificación de las fundiciones grises según la norma ASTM A48.....	53
Tabla 2.8: Influencia de los elementos de aleación en los constituyentes.....	55
Tabla 2.9: Influencia de los elementos de aleación en los constituyentes microscópicos de las fundiciones.....	56
Tabla 2.10: Comparación de ensayos de dureza Típicos.....	70
Tabla 3.1: Operacionalización de la variable Independiente.....	76
Tabla 3.2: Operacionalización de la variable Dependiente.....	77
Tabla 4.1: Dimensionamiento del material base.....	80
Tabla 4.2: Composición química del material base.....	92
Tabla 4.3: Características y propiedades del material base.....	99
Tabla 4.4: Propiedades del material depositado según el fabricante.....	102
Tabla 4.5: Resultados; probetas ensayadas a tracción soldadas sin precalentamiento 21°C.....	218
Tabla 4.6: Resultado; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 100°C.....	218
Tabla 4.7: Resultado; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 200°C.....	219
Tabla 4.8: Resultado; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 300°C.....	219
Tabla 4.9: Resultado; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 370°C.....	219
Tabla 4.10: Resultado; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 400°C.....	219
Tabla 4.11: Resultado; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 500°C.....	220
Tabla 4.12: Resultado; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 600°C.....	220

Tabla 4.13: Resultado promedio de las Probetas ensayadas a tracción con/sin precalentamiento.....	220
Tabla 4.14: Resultados de las Propiedades del Grafito, ensayos metalográficos, material base, a 100X.....	225
Tabla 4.15: Resultados de las Propiedades del Grafito, ensayos metalográficos, Zat, a 100X.....	228
Tabla 4.16: Resultados de Porcentaje de Grafito en el Material Base y la ZAT.....	229
Tabla 4.17 Resultados de Porcentaje de la Matriz Ferrito-perlítica en el Material Base y la ZAT.....	229
Tabla 4.18: Resultados Componentes del Metal fundido.....	229
Tabla 4.19: Resultados de Dureza [HB] en la junta soldada.....	233
Tabla 4.20: Resultados: ensayo de impacto de las juntas soldadas con/sin precalentamiento.....	236
Tabla 4.21: Comparación temperaturas de precalentamiento vs resistencia ultima a la tracción (Sut).....	238
Tabla 4.22: Comparación, Resultados de las Propiedades del Grafito a 100X.....	240
Tabla 5.1: Comparación de las propiedades de las elementos de investigación.....	249
Tabla 6.1: Principales propiedades del material base.....	255
Tabla 6.2: Resultados registrados del Ensayo de Tracción.....	257
Tabla 6.3: Resultados de la dureza en la junta soldada con precalentamiento a 370°C.....	259
Tabla 6.4: Resultados del ensayo a de impacto en la junta soldada con precalentamiento a 370°C.....	259
Tabla 6.5: Resultados del ensayo a tracción, probeta N° 3.....	271
Tabla 6.6: Desglose del costo de la investigación.....	280

SIMBOLOGIA

A_f: Área final.

ANCAP: Administración Nacional de Combustibles Alcohol y Portland.

A_o: Área inicial.

ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

AWS: American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura).

CA: Corriente alterna.

CC: Corriente continúa.

CE: Carbono equivalente.

END: Ensayos no destructivos.

f: Talón de raíz.

FCAW: Soldadura de arco fundente en el núcleo.

HB: Hard brinell, Dureza brinell.

HIC: Fisuración inducida por hidrogeno.

INT: Intercara.

l_f: Longitud final.

l_o: Longitud inicial.

MB: Metal Base.

MF: Metal fundido.

OVC: Tensión de vacío.

PC: Pre calentamiento.

P_{max}: Carga máxima.

SAW: Soldadura por arco sumergido.

SCC: Corrosión bajo tensión.

SMAW: Soldadura Manual de arco revestido.

TTSP: Tratamiento térmico de soldadura precalentada.

TTT: Temperatura - Tiempo - Transformación.

ZAT: Zona térmicamente afectada.

ZAT: Zona térmicamente afectada.

ξ: Deformación o alargamiento.

σ: Esfuerzo.

ΔL: Deformación Lineal

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

Previo a la obtención del Título de:
“INGENIERO MECÁNICO”

Autor: Oscar Fabian Tene Salazar

Tutor: Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

Fecha: Junio 7 del 2013

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se muestra el estudio de la influencia de la temperatura de precalentamiento a través de un proceso experimental de soldadura realizado en las juntas de hierro fundido gris clase 30 clasificada en la norma ASTM A 48-03, aplicando diferentes temperaturas de precalentamiento de 21°C, 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C y otra de 370°C utilizando un método predictivo de temperatura de no agrietamiento basado en los componentes químicos del material y en la determinación del carbono equivalente.

En consecuencia se evaluaron las probetas soldadas con electrodos ENi-CI en un procedimiento de soldadura SMAW realizando ensayos de tracción, dureza, impacto Charpy y análisis metalográfico en la zona del material base, zona térmicamente afectada y el material fundido para poder determinar la variación en sus propiedades mecánicas influenciadas por la temperatura de precalentamiento, los ensayos fueron realizados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, posteriormente los resultados fueron tabulados y analizados, obteniendo como conclusión que 370°C es la temperatura que mejores propiedades presentó sobre el metal base.

Finalmente mediante la investigación y el proceso experimental se desarrollo un procedimiento de soldadura SMAW para hierro fundido gris clase 30.

Palabras clave: Hierro fundido gris, soldadura SMAW, temperatura de precalentamiento, caracterización, composición química, propiedades.

AMBATO TECHNICAL UNIVERSITY
FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING
STRUCTURED WORK INDEPENDENTLY

Previous to obtaining title:
“MECHANICAL ENGINEER”

Author: Oscar Fabian Tene Salazar

Tutor: Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

Date: June 7th, 2013

SUMMARY

In the present investigation work, the study shows the influence of the preheating temperature right through an experimental process weld joints made of gray cast iron class 30 classified in ASTM A 48-03, using different temperatures preheating to 21 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C and other of 370 °C using a temperature predictive method based cracking no chemical components material and equivalent carbon determination.

Accordingly welded specimens were evaluated ENi-CI electrodes in SMAW welding procedure performing tests: tensile, hardness, Charpy impact and metallographic analysis in the area of the base material, heat affected zone and the molten material to determine the variation in mechanical properties influenced by preheating temperature, assays were performed in the laboratories of the Faculty of Civil and mechanics Engineering in the Technical University of Ambato, then the results were tabulated and analyzed, obtaining the conclusion that 370 ° C is temperature provided better properties than the metal base.

Finally through research and experimental process development SMAW welding procedure for class 30 gray cast iron.

Keywords: Grey cast iron, SMAW welding, preheating temperature, characterization, chemical composition, properties.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

“ESTUDIO DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO EN EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SMAW EN EL HIERRO FUNDIDO GRIS Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA JUNTA SOLDADA.”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Contextualización del problema

Actualmente en el mundo industrial, el hierro fundido es uno de los metales más versátiles su simplicidad de elaboración pues posee un punto bajo de fusión y fluidez. Su alto contenido de carbono es el que hace al hierro fundido tan diferente al acero. Otra de sus ventajas es que dicho material ferroso puede fundirse con tan solo un horno de gas, mientras que el acero al tener un punto de fusión más elevado requiere la utilización de un horno eléctrico o altos hornos para su fundición. Además el hierro fundido puede mecanizarse más rápidamente que el acero por poseer varias características deseables para trabajos de ingeniería que no tiene otro metal, sin embargo es más económico. A pesar de existir diferentes clases de hierro fundido el más importante y utilizado es el hierro fundido gris; la soldabilidad y la recuperación de este tipo de fundiciones es muy deseable ya que estas son de uso común en la industria, ya sea en el campo de producción de recuperación industrial para garantizar piezas estéticas con características mecánicas específicas y medidas exactas. Debido a que la fundición de hierro gris tiene un estructura cristalina de grafito hace que ni se doble ni se estire este se rompe rápidamente, este es un hecho

habitual en fábricas, empresas de construcción, talleres y en cualquier otra industria. Todo esto frecuenta entonces reparaciones de: errores de fundición como rechupes, piezas desgastadas, fisuras causadas por sobrecarga mecánica, fatiga o lo que es más común en industrias de producción corrección de dimensiones inferiores a la medida especificada requerida por el cliente.

En América latina, países como Colombia y Cuba con desarrollo progresivo han realizado estudios de mejoramiento para la recuperación de piezas de fundición de hierro que existen en sus mercados industriales, estos estudios se los realiza mediante soldadura, orientados principalmente en procedimientos en frío y en algunos casos utilizando cobresoldaduras o varillas para soldadura oxiacetilénica. También existe estudios basados en la selección de material de aporte de baja entrada de calor para aumentar la soldabilidad tratando de no influir en las propiedades mecánicas de los materiales soldados y que tampoco haya transformaciones donde se obtengan estructuras frágiles, debido al aumento de tensiones o cambio de fases en la unión soldada generalizando así a las fundiciones de hierro. Estudios realizados en otros países están enfocados en tratamientos térmicos y evaluaciones de desgaste por fricción para procesos donde existan depósitos de soldadura por arco eléctrico.

A nivel nacional son muy pocas las empresas y talleres que se dedican a la investigación y aplicación de procedimientos adecuados para la soldadura de fundición gris por el proceso SMAW ya sea de producción o recuperación. En su gran mayoría son procedimientos de forma artesanal para la recuperación de la fundición, sin embargo tiene una calidad de funcionamiento de alta duración. En Tungurahua contamos con empresas dirigidas hacia la fundición de hierro gris entre las principales están SIDERÚRGICA TUNGURAHUA, FUNDICIONES LASER Y FUNDICIONES TIRADO HNOS. en su mayoría dedicadas a la realización de fundiciones mas no al campo de reparaciones.

1.2.2 Análisis Crítico:

Dentro de la ingeniería mecánica y particularmente en el área de soldadura muchos ingenieros se han encontrado con fallos repetitivos al intentar soldar fundición de hierro gris observándose la carencia de estudios relacionados con la soldabilidad del hierro gris, lo que ha traído como consecuencia utilizar procedimientos inadecuados

o de manera artesanal dando como resultado soldaduras de baja calidad no maquinables es decir con malas propiedades mecánicas de la junta soldada.

Hoy en día la fundición hierro gris sigue siendo un renglón disperso por todas las principales ciudades del país en forma de medianos y pequeños talleres así como empresas dedicadas a la fundición de estos materiales. Con frecuencia una fundición costosa se rompe, se desgasta o es fundida con medidas incorrectas lo cual da como resultado costosos tiempos improductivos. Sería imposible calcular las pérdidas que suponen para algunas industrias debido a rupturas de elementos indispensables como bloques de motores, discos de freno de tractores, tubos de escape, cajas de transmisión, o para industrias de máquinas donde se encuentran: carcasa de bombas, prensa troqueladoras, carcasas de motores eléctricos y tantos otros componentes de hierro fundido gris.

El presente proyecto de investigación estuvo dirigido a proporcionar una adecuada técnica o procedimiento que permita soldar la fundición de hierro gris, centrándose en estudios de temperatura de precalentamiento del material base a soldar ya que el precalentamiento es un medio efectivo para reducir agrietamientos así como también minimizar y eliminar el riesgo de formación de estructuras duras y frágiles en la zona térmicamente afectada, el precalentamiento de la junta también es una manera de reducir el enfriamiento del área luego de ser soldada y así generar nuevas fuentes de investigación dentro del área de soldadura.

1.2.3 Prognosis

De no haberse realizarse el presente estudio, se desconocería la influencia de los factores para un correcto procedimiento con una temperatura adecuada de precalentamiento, lo cual pueda influenciar directamente en mantener las propiedades del material base o formación de zonas difíciles de maquinar así también se verían influenciados los siguientes puntos:

- Utilización de procedimientos inadecuados bajo la influencia de temperaturas de precalentamiento inadecuadas.
- Velocidad de enfriamiento del metal base, contribuyendo a la formación de propiedades mecánicas perjudiciales en la junta soldada y zonas aledañas.

- Creación de agrietamientos en el cordón de soldadura y del metal base.
- Contribución a la formación de tensiones internas ya sea a tracción o compresión.
- Dificultad al instante de maquinar el cordón de soldadura o el metal base.
- Propiedades mecánicas de la junta soldada

1.2.4 Formulación del problema

La pregunta que guía la presente investigación es la siguiente:

¿Cuál es la temperatura de precalentamiento adecuada en un procedimiento de soldadura SMAW de la fundición de hierro gris para mejorar sus propiedades mecánicas de la junta soldada?

1.2.5 Preguntas Directrices

¿Cuáles son los parámetros a tomar en cuenta para la selección adecuada de materiales para realizar el precalentamiento en la soldadura de fundición gris?

¿Cuáles son las propiedades del hierro gris a tomar en cuenta para realizar el precalentamiento previo a la soldadura?

¿A qué se debe el desconocimiento del análisis estructural del material base de la junta soldada en la soldadura de fundición de hierro gris?

¿Cuál es el método adecuado para la soldadura de fundición de hierro gris?

1.2.6 Delimitación

1.2.6.1 De contenido

- Área de materiales
- Soldadura
- Ingeniería Mecánica.

1.2.6.2 Espacial

La recopilación bibliográfica se realizó en la biblioteca de la FICM, así como también accediendo a páginas de internet confiables.

1.2.6.3 Temporal

Esta investigación se realizó en los meses de Junio 2012 a Mayo 2013.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En realidad la soldadura es un proceso metalúrgico y entender cómo se comportan los metales durante su producción y fundición es conocer los fundamentos de soldadura. La mayoría de procesos de soldadura requieren la generación de altas temperaturas para hacer posible la unión de los metales implicados. Uno de los principales problemas en la soldadura es el comportamiento de los metales ante la combinación de agentes atmosféricos y cambios de temperatura bruscos que pueda tener en el momento de ser soldado. Generalmente las piezas de hierro fundido se precalientan para mejora el proceso de soldadura pero ¿Cuál realmente es el objetivo del precalentamiento de la fundición gris en este estudio?

Cuando una pieza de hierro fundido se rompe el costo de reposición es enorme independientemente de la industria que se trate y para la empresa es imposible mantener almacenadas una serie de fundiciones de repuestos incluso el mismo fabricante no podría proporcionar una pieza de repuesto en un tiempo inmediato ya sea por sus características o por el tiempo (fecha) en que fue fabricado, por lo que muchas veces se requiere exportar una nueva.

El precalentamiento también es un factor que controla la microestructura de la zona térmicamente afectada (ZAT) y del metal de soldadura, influyendo así en la velocidad de enfriamiento; pero esta velocidad depende también: de los espesores del material base, la geometría de la unión, el calor aportado. Entonces velocidad de enfriamiento puede ser usada, dentro de cierto rango, para prevenir la formación de microestructuras peligrosas en la ZAT y en la soldadura. Si calentamos el material previamente a la soldadura disminuimos el desnivel térmico desde la temperatura de fusión del acero desplazando la curva de enfriamiento hacia la derecha del diagrama Temperatura - Tiempo - Transformación (TTT). De este modo se favorecen las transformaciones metalúrgicas a estructuras más blandas que resultan menos frágiles y propensas a fisuración en frío.

El presente estudio tuvo como objetivo la aplicación de los conocimientos y experiencias adquiridas durante la carrera universitaria, con el cual se desarrollo un procedimiento adecuado y óptimo para realizar un proceso de soldadura SMAW en la fundición de hierro gris con el objetivo de brindar una alternativa en la solución de los diferentes tipos de problemas al momento de realizar soldadura, ya sean en el área de mantenimiento para su reparación o en el área de producción para su corrección. El propósito fue estudiar la influencia de la temperatura de precalentamiento en la soldadura de hierro fundido gris.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

Investigar la temperatura de precalentamiento en el procedimiento de soldadura SMAW de la fundición gris y su incidencia en las propiedades mecánicas de la junta soldada.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Investigar cuál es la temperatura adecuada para realizar el precalentamiento en la soldadura SMAW de fundición gris
- Analizar los parámetros que permitan la evaluación e interpretación de las propiedades del hierro gris a tomar en cuenta para realizar el precalentamiento previo a la soldadura mediante probetas en las que se realice la presente investigación
- Realizar un estudio del análisis microestructural del material base de la junta soldada en la soldadura de fundición de hierro gris.
- Investigar cuál es el método adecuado para la soldadura de fundición de hierro gris

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La microestructura de la zona térmicamente afectada por calor (ZAT) y del metal de soldadura, es una de las propiedades mecánicas de la junta soldada que son controladas por un factor que es la velocidad de enfriamiento; esta último dependiendo de los factores como: los espesores del material base, la geometría de la unión, el calor aportado y la temperatura de precalentamiento.

La temperatura de precalentamiento tiene como principal función disminuir la velocidad de enfriamiento del conjunto soldado. Es la mínima temperatura que debe ser alcanzada en todo el espesor y en una zona suficientemente ancha a ambos lados de la junta del material base antes de que comience el proceso de soldadura y que normalmente debe mantenerse entre las diversas pasadas en caso de soldadura de pasadas múltiples. Se aplica localmente por resistencia eléctrica o llama de gas y su medición se realiza, siempre que sea posible, en la cara opuesta a la que se está aplicando la fuente de calor, por medio de termocupla o lápices termoindicadores (tizas térmicas), termómetro por infrarrojos de precisión (pirómetros).

Se ha investigado algunas referencias parecidas a la temática a tratar en la presente investigación dentro de los proyectos y tesis de la F.I.C.M. de la Universidad Técnica de Ambato, pero no se ha encontrado ninguna por lo tanto, se ha ampliado la investigación a otras Universidades del País donde también no fue motivo de estudio por lo tanto una vez más se ha ampliado la investigación a otras Universidades fuera del País encontrándose las siguientes Tesis de la Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires - Argentina, y Universidad Nacional de Colombia, Medellín - Colombia

Para la presente investigación se ha tomado como referencia los siguientes estudios:

[Fuente: “EFECTO DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO EN LA SOLDABILIDAD DE UN ACERO ASTM A 514 GR B”, Ing. Asta Eduardo, Ing. Salazar Mónica, Ing. Quesada Héctor, *Jornadas Sam/ Conamet/ Simposio materia. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires Argentina. 2003*]^[1]

“Se analiza la soldabilidad con relación a la temperatura de precalentamiento de un acero de alta resistencia templado y revenido utilizado en aplicaciones estructurales. Diferentes métodos predictivos son considerados para establecer las condiciones de precalentamiento con resultados muy variables, en un caso no fija necesidad del mismo y en otros se exige una temperatura mayor a 200°C. En consecuencia se evalúa la utilización de métodos experimentales para determinar la temperatura de precalentamiento más adecuada compatible con condiciones de aplicación extremas bajo las cuales puede ejecutarse la soldadura, tales como elevada humedad relativa y espesor grueso, minimizando el riesgo de fisuración.

La soldadura se realiza mediante proceso FCAW automatizado utilizando un electrodo básico de bajo hidrógeno E110T-5-K4, con protección gaseosa, sobre un acero ASTM A514 Gr B de 25mm de espesor. Una evaluación de la microestructura por microscopía óptica y electrónica así como mediciones de microdureza son realizadas sobre muestras de las juntas soldadas correspondientes a condiciones con y sin precalentamiento. Finalmente del análisis surge cual es la temperatura más adecuada, bajo las condiciones planteadas, que permite realizar soldaduras de este acero con una bajo riesgo a la aparición de fisuras.”

Discusión y Conclusiones

- ✓ La realización de los procedimientos de soldadura se basa en recomendaciones dadas por los códigos de fabricación, los cuales están bien desarrollados para aceros aleados con procesos de soldadura manual.

^[1] Estudio, Ing. Asta Eduardo, Ing. Salazar Mónica, Ing. Quesada Héctor, (2003), “Efecto de la temperatura de precalentamiento en la soldabilidad de un acero ASTM A 514 GR B”, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires - Argentina, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires-Argentina, Website: <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/bariloche/Trabajo>

- ✓ Los procesos que involucran la utilización de electrodos continuos de bajo hidrógeno con protección gaseosa y en aceros microaleados requieren de estudios más elaborados para evaluar la soldabilidad, tal es el caso de lo aquí analizado.
- ✓ Los elevados aportes térmicos (H entre 0,7 y 3,7 KJ/mm) junto con el bajo nivel de hidrógeno difusible del metal de aporte (5mlH₂/100g) no resultaron suficientes para evitar la fisuración en el acero microaleado A514 GrB, presentándose la misma principalmente en el metal de aporte.
- ✓ En cambio un precalentamiento mínimo de 150°C permite minimizar el riesgo a fisuras tanto en la ZAT como en el metal de soldadura.
- ✓ En el cupón precalentado los valores de dureza máxima en la ZAT no superan los 380HV1 con velocidades de enfriamiento Rc inferiores a 40°C/s que eliminan el riesgo a microestructuras susceptibles. El enriquecimiento en la composición química del metal de aporte debido al consumible, al aporte térmico y a la dilución hace que tengamos en los mismos valores de CEIHW un 40% mayor que en el metal base. En consecuencia para controlar la fisuración en frío en el metal de soldadura, con consumibles FCAW de alta resistencia, sin necesidad de aplicar precalentamiento debería trabajarse sobre la composición del relleno y el tenor de carbono del fleje así como en la optimización del aporte térmico a fin de bajar el valor de CEIHW a niveles comparables al metal base.
- ✓ El análisis de la microestructura, permite observar que el metal base presenta una microestructura bainítica con carburos precipitados tanto en la matriz como sobre sitios donde se ubicaron los primitivos límites de grano austeníticos.
- ✓ El metal de aporte en la región columnar y no afectado por sucesivas pasadas de soldadura muestra una microestructura netamente martensítica.
- ✓ Por su parte bandas de martensita se mantienen en la región entre pasadas infiriendo que las mismas no han sido revenidas por las pasadas posteriores.
- ✓ En cuanto a la ZAT vemos que la misma presenta distintas regiones, la correspondiente a la última pasada revela una microestructura bainítica muy revenida y sin un excesivo crecimiento de grano.
- ✓ Las pasadas previas muestran una matriz ferrítica con un efecto de revenido más marcado, se observan regiones a lo largo de toda la ZAT donde han precipitado islas de perlita muy fina siguiendo un patrón determinado.

- ✓ En la aplicación del proceso FCAW en la soldadura de aceros microaleados se debe analizar los problemas de fisuración tanto en metal base como en la soldadura, los Códigos consideran los riesgos de fisuras en el metal base. La dilución influirá notablemente en los resultados obtenidos lo que hace que la necesidad de precalentamiento responda a las características del metal de soldadura antes que a las del metal base.

[Fuente: “SOLDABILIDAD DE FUNDICIONES GRISES CON MATERIALES DE APORTE TIPO RBCuZn-A, ERCuAl-A2 Y ERNiFe-CI-A.”, Ing. Mecánico. Jimmy Unfried Silgado / Ing. de Soldadura de ESSA (Paris) Efraín Tabares Acevedo, *Universidad Nacional de Colombia, Medellín – Colombia 2004*]^[2]

“En esta investigación, a través de una propuesta experimental que incluye el diseño de un cuerpo de ensayo y por la selección de procedimientos de soldadura adecuados, se estudió la influencia de los materiales de aporte tipo: RBCuZn-A, ERNiFe-CI-A y ERCuAl-A2, aplicados sobre una fundición gris no aleada clasificada dentro de la especificación ASTM A-48. Dicha influencia se estudió a través de la extracción de probetas de ensayo que se usaron para la evaluación de propiedades mecánicas: tracción, dureza, microdureza y dobléz; así como, a través de observaciones metalográficas de las uniones soldadas. Con esto se logró determinar la existencia o no de diferentes zonas y regiones en las juntas soldadas y la influencia de esta presencia sobre la Soldabilidad en el metal de base escogido”.

Conclusiones.

- ✓ Se logró evidenciar la existencia de zonas y regiones de transformación microestructural, entre ellas la Zona Fundida No Mezclada ZFNM, en las juntas de soldadura de una fundición gris hecha con los materiales de aporte: RBCuZn – A, ERCuAl – A2 y ERNiFe – CI – A, (para los cuales se utilizaron diferentes procedimientos de soldadura), a través del uso de los ensayos de dureza Brinell y microdureza Vickers, en combinación con los ensayos de observación metalográfica. Igualmente, fue posible establecer, bajo las condiciones dadas en los procedimientos de soldadura usados, que el MA basado en la aleación Cobre – Zinc, no exhibe zonas de transformación microestructural que evidencien la existencia de la zona ZFNM; mientras que los materiales basados en las

aleaciones Cobre – Aluminio y Níquel – Hierro, si mostraron evidencia de su existencia.

- ✓ A través de la experimentación realizada, fue posible estimar el valor de las propiedades mecánicas: tracción, doblez, y microdureza, para cada una de las juntas soldadas con los materiales de aporte basados en las aleaciones Cu – Zn, Cu – Al y Ni – Fe. Con esto se pudo determinar que estas juntas exhiben características y propiedades mecánicas muy diferentes entre sí, las cuales, deben ser tenidas en cuenta al momento de seleccionar cualquiera de ellas, si se pretenden hacer soldaduras de calidad sobre el MB trabajado.
- ✓ Fue posible establecer a través de un método sencillo, un bloque de ensayo para evaluar la soldabilidad de una fundición gris con diversos materiales de aporte y condiciones de soldadura específicas, el cual fue producto de la utilización de ecuaciones de flujo de calor para soldadura y el criterio de selección de un espesor crítico para la evacuación de calor en el bloque de ensayo y un método para alcanzar a establecer la independencia matemática del espesor y las condiciones de evacuación de calor en el mismo.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Esta investigación se apoyó en un enfoque crítico propositivo, predominando en un análisis cualitativo, tomando en cuenta los diferentes: factores, características y propiedades, que tengan relación con el tema de investigación.

La investigación tuvo como propósito: estudiar y comprender, las causas, efectos y posibles soluciones a la problemática de la soldabilidad de la fundición gris y la influencia de la determinación de una temperatura de precalentamiento, que directa o indirectamente tengan relación o influyan en la microestructura de la junta soldada, tratando de mitigar los efectos que puedan producirse al momento de realizar la soldadura de la fundición gris.

^[2] Estudio, Ing. Mecánico. Jimy Unfried Silgado / Ing. de Soldadura de ESSA (Paris) Efraín Tabares Acevedo, (2004), “Soldabilidad de fundiciones grises con materiales de aporte tipo RBCuZn-A, ERCuAl-A2 Y ERNiFe-CI-A.”, Universidad Nacional de Colombia, Medellín – Colombia, Web site: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/496/49614109.pdf>

Debido a la existencia de múltiples realidades que existan al realizar el precalentamiento o no, la investigación tuvo que ser flexible y abierta debido a los diferentes cambios y propuestas por varios factores que puedan influir para el procedimiento de soldadura aunque no con el mismo grado de importancia con la temática relacionada dentro de esta investigación.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La presente investigación se realizó basada en las siguientes normas:

- ASTM A48 /A48M-03 “Especificación estándar para fundiciones de hierro gris
- AWS D1.1/D1.1M: 2010 “Código de Soldadura Estructural – Acero”
- ANSI / AWS A5.11/A5.11M: 2005 “Especificación para electrodos de soldadura de níquel y aleaciones de níquel-de Soldadura al arco de metal”
- ANSI / AWS D11.2-89 (R2006) “Guía para la soldadura de fundición de Hierro”
- ANSI / AWS B4.0: 2007 “Métodos estándares para pruebas mecánicas de soldaduras (unidades de EE.UU. habituales)”
- ANSI / AWS A5.15-90 (R2006) “Especificación para electrodos de soldadura y varillas de hierro fundido”.
- ASTM 247-67 (Reapproved 1998) “Método de prueba estándar para la evaluación de la microestructura del grafito en una fundición de hierro”.
- INEN 130. 1976- 2003 “Ensayo de impacto charpy para acero”.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

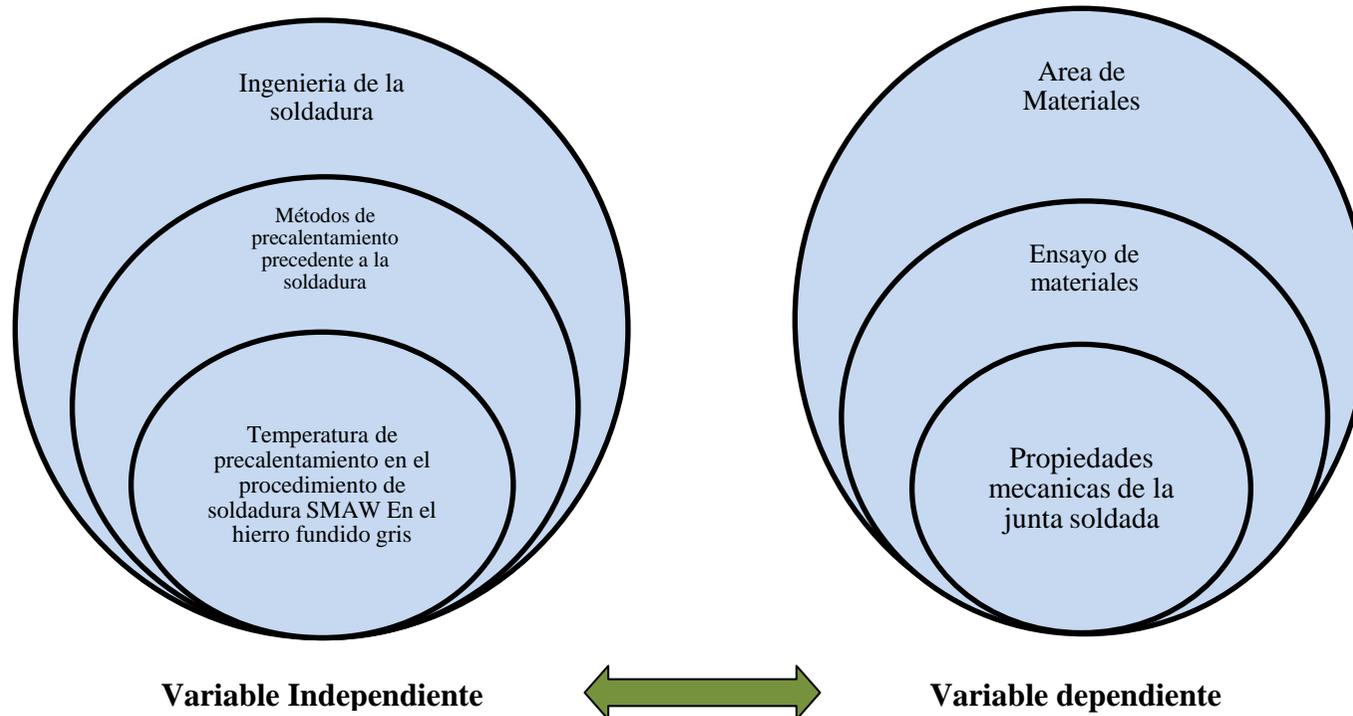


FIGURA 2.1: Categorías Fundamentales
(ELABORADO POR: Oscar Tene)

2.4.1 Temperatura de precalentamiento en el procedimiento de soldadura SMAW En el hierro fundido gris

2.4.1.1 Soldadura ^[3]

El ingeniero M. Pastor en su libro “Introducción a la metalurgia de la soldadura”, expresa: “existen varias definiciones de soldadura. La Sociedad Americana de Soldadura AWS, define como una coalescencia localizada del metal, en donde esa coalescencia se produce por el calentamiento a temperaturas adecuadas, con o sin aplicación de presión y con o sin utilización de metal de aporte para producir la unión localizada a través de la fusión o recristalización a lo largo de la intercara. Otra definición mucho más simple es la del instituto de soldadura, TWI, esta definición dice: “*e duobus unum*”, que significa de dos hacer uno. En la práctica industrial, pueden existir dos tipos de soldadura: las homogéneas, en cuyo caso el metal base es completamente compatible con el metal de aporte y las heterogéneas, en cuyo caso existen diferencias de composición y/o entre las partes a soldar o entre estas y el metal de aporte.”^[3]

2.4.1.2 SMAW- Electrodo Revestido ^[4]

La soldadura con electrodos revestidos SMAW (Shield Metal Arc Welding) es un proceso en el que se unen dos metales mediante una fusión localizada producida por un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto.

✓ Principio de funcionamiento

Con el calor producido por el arco se quema el revestimiento y se funde el electrodo, produciéndose una atmósfera adecuada para que tenga lugar la transferencia de las gotas de metal fundido desde el alma del electrodo hasta el baño de fusión. Estas gotas se proyectan recubiertas de escoria procedente del revestimiento que, por su tensión superficial, viscosidad y densidad, flota y solidifica en la superficie formando una capa que protege el baño fundido. De esta forma, a medida que se consume el electrodo se va depositando material de aporte a la vez que el arco se desplaza sobre la pieza.

³ PASTOR M, 1998. “Introducción a la metalurgia de la soldadura”. S.F Editorial. Pag.1. Biblioteca FICM

La corriente empleada puede ser continua o alterna, dependiendo del electrodo empleado, pero la fuente debe ser capaz de controlar el nivel de corriente dentro de un intervalo para responder a las variables del proceso

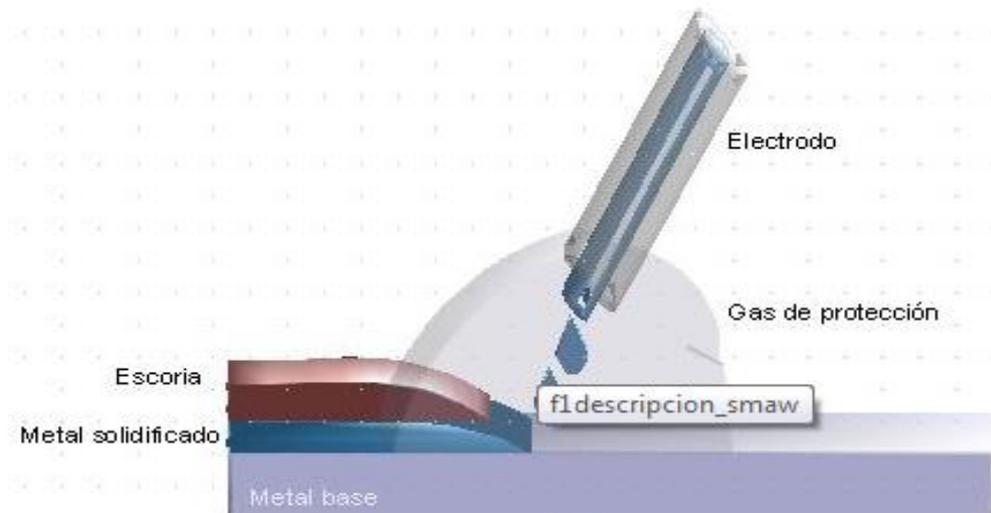


Figura 2.2 Esquema del proceso
(Fuente: OBTESOL, 2012, SMAW- Electrodo Revestido)

Esta es una soldadura discontinua ya que es necesario reponer el electrodo en la pinza porta electrodos cada vez que se consume el anterior.

➤ **Ventajas:**

- El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El metal de aporte y el medio de protección proceden del electrodo revestido.
- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos con protección gaseosa.
- Se puede emplear en cualquier posición tanto en locales abiertos como cerrados.
- Aplicable a la mayoría de procesos y aleaciones.
- Aplicable a gran variedad de espesores, mayores de 2 [mm].^[4]

⁴ OBTESOL, 29 Noviembre 2012, SMAW- Electrodo revestido, Web site: http://www.obtesol.es/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=108

➤ **Limitaciones** ^[5]

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición, y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- Requiere gran habilidad por parte del soldador.
- No es aplicable a metales con bajo punto de fusión, como plomo, estaño, zinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos.
- Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el Ti, Zr, Ta y Nb, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.
- No es aplicable a espesores inferiores a 1,5-2 mm.
- El proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm. Serán más adecuados los procesos SAW y FCAW.

2.4.1.3 VARIABLES DE SOLDEO

➤ **Tipo de corriente**

El soldeo por arco con electrodos revestidos se puede realizar tanto con corriente alterna como con corriente continua. La elección de una u otra dependerá del tipo de fuente de corriente disponible, del electrodo a utilizar, y del material base. A continuación se muestra una tabla con la corriente más adecuada en función de una serie de parámetros.

TABLA 2.1 COMPARACIÓN ENTRE SOLDADURA CON CORRIENTE CONTINUA Y CON CORRIENTE ALTERNA

Parámetros	Corriente continua	Corriente alterna
Soldeo a gran distancia de la fuente de corriente.		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo.	La operación resulta más fácil.	Precaución. El material se puede deteriorar debido a la dificultad de encendido del arco.
Cebado del arco.	Resulta más fácil.	Más difícil, en especial si se emplean electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco.	Más fácil por la mayor estabilidad.	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento.

Soplo magnético.	Puede ser un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos.	No se presentan problemas
Posiciones de soldeo.	Se prefiere en el soldeo en posiciones vertical y bajo techo, porque deben utilizarse intensidades bajas.	Si se utilizan los electrodos adecuados se pueden realizar soldaduras en cualquier posición
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo	El revestimiento del electrodo debe contener sustancias que restablezcan el arco.
Espesor de la pieza.	Se prefiere para espesores delgados.	Se prefiere con espesores gruesos. Se obtiene mayor rendimiento.
Salpicaduras.	Poco frecuentes	Más frecuentes.
Soldo utilizando longitudes de arco pequeñas (importante en algún tipo de electrodos, sobre todo los de tipo básico).	El soldeo resulta más fácil.	
Polaridad.	Posibilidad de elección de la polaridad en función del metal a soldar y del electrodo a emplear.	No hay polaridades.

(Fuente: LINCOLN ELECTRIC, 2010, SMAW-SOLDEO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SMAW), Departamento de Formación Lincoln-KD S.A, Pag. 4)

➤ Polaridad

- Polaridad directa CCEN
- Polaridad inversa CCEP

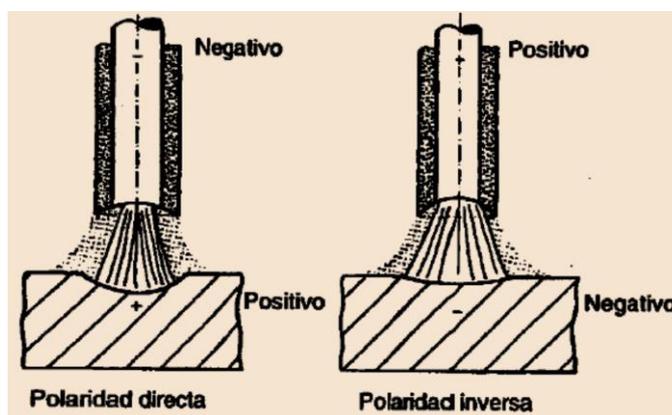


Figura 2.3 Penetración obtenida en función de la polaridad

(Fuente: LINCOLN ELECTRIC, 2010, SMAW-SOLDEO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SMAW), Departamento de Formación Lincoln-KD S.A, Pag. 5)

- **Fuente de energía**

La fuente de energía para el soldeo debe presentar una característica descendente (de intensidad constante), para que la corriente de soldeo se vea poco afectada por las variaciones en la longitud del arco.

Para el soldeo con corriente continua se utilizan rectificadores, mientras que para el soldeo con corriente alterna se utilizan transformadores.

Para la selección de la fuente de energía adecuada se debe tener en cuenta el electrodo que se va a utilizar, de forma que pueda suministrar el tipo de corriente (CC o CA), rango de intensidades y tensión de vacío (OCV) que se requiera.

Los electrodos básicos necesitan mayores tensiones de vacío que los otros tipos de revestimientos.

- **Pinza Portaelectrodo**

Su misión es conducir la corriente hasta el electrodo y sujetarlo. Las mordazas deben mantenerse en perfecto estado para evitar un sobrecalentamiento que se traduciría en una disminución de la calidad, y dificultaría la ejecución del soldeo. Se debe seleccionar la pinza adecuada al diámetro del electrodo que se va a utilizar.

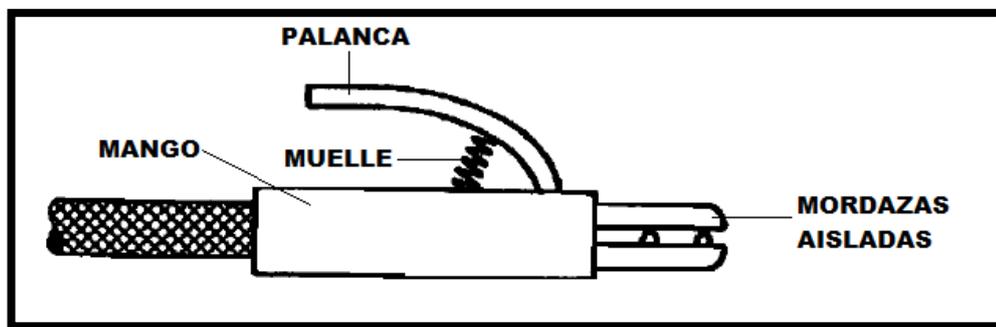


Figura 2.4 Partes de un portaelectrodo
(Fuente: LINCOLN ELECTRIC, 2010, SMAW-SOLDEO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SMAW), Departamento de Formación Lincoln-KD S.A, Pag. 6)

- **Conexión de masa**

Es importante que la conexión del cable de masa sea correcta. La situación del cable es de especial relevancia en el soldeo con CC. Una situación incorrecta puede provocar el soplo magnético, dificultando el control del arco. Más aún, el método de sujetar el cable también es importante. Un cable mal sujeto no proporcionará un contacto eléctrico consistente y la conexión se calentará, pudiendo producirse una

interrupción en el circuito y la desaparición del arco. El mejor método es emplear una zapata de contacto de cobre sujeta con una mordaza tipo C. Si fuese perjudicial la contaminación por cobre del metal base con este dispositivo, la zapata de cobre debe adherirse a una chapa que sea compatible con la pieza, chapa que, a su vez, se sujeta a la pieza. Para piezas giratorias el contacto debe efectuarse mediante zapatas que deslizan sobre la pieza, 2 como mínimo para evitar que se extinga el arco si se suelta una de ellas, o mediante rodamientos en el eje sobre el que la pieza va montada.

- **Electrodos revestidos**

El elemento fundamental de este proceso es el electrodo, que establece el arco, protege el baño de fusión y que, al consumirse, produce la **aportación del material** que, unido al material fundido del metal base, va a constituir la soldadura.

- Un núcleo metálico, denominado **alma**. Es un alambre de sección circular uniforme que sirve como material de aportación. Su composición química varía, y su selección se hace de acuerdo al material de la pieza a soldar.
- El **revestimiento** es un cilindro concéntrico de espesor uniforme que envuelve el alma del electrodo. Está compuesto por diferentes sustancias químicas que caracterizan el electrodo. Cumple las siguientes funciones, las cuales evitan los inconvenientes del electrodo desnudo:

1. Dirige el arco, conduciendo a una fusión equilibrada y uniforme.
2. Protegen el metal fundido impidiendo la entrada del oxígeno y del nitrógeno del aire, que sería muy perjudicial para la soldadura. Para ello:

- Produce gases que envuelven el arco.
- Produce una escoria que cubre el metal fundido hasta que solidifique y se enfríe. La escoria protege el metal fundido desde el primer momento de la formación de las gotas.

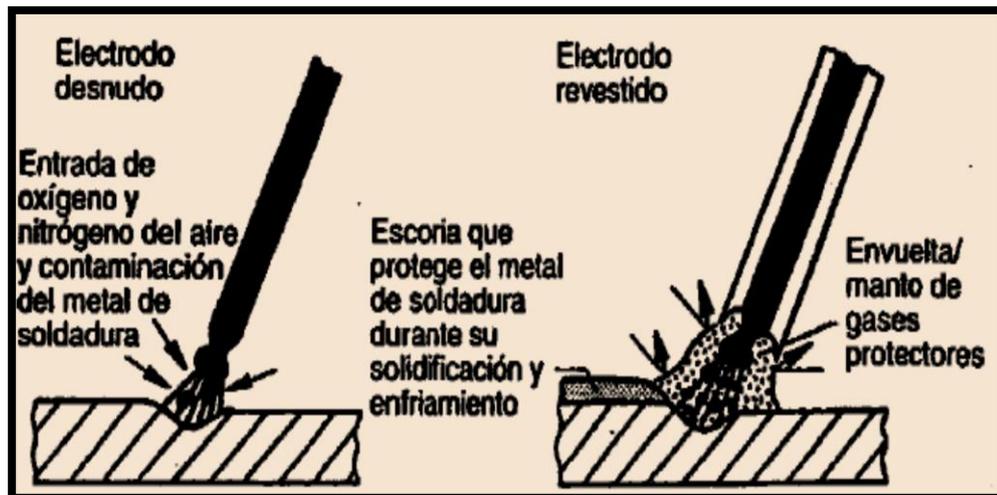


Figura 2.5 Electrodo desnudo y electrodo revestido.

(Fuente: LINCOLN ELECTRIC, 2010, SMAW-SOLDEO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SMAW), Departamento de Formación Lincoln, Pag. 7)

Los electrodos tienen longitudes normalizadas de 150, 200, 250, 300, 350, y 450 mm, en función del diámetro del electrodo. Un extremo del alma, de 20 a 30 mm, no lo cubre el revestimiento, y es la parte que se inserta en la pinza portaelectrodos.

Los diámetros también están normalizados: 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6, son los más habituales.

Atendiendo al espesor del revestimiento, podemos clasificar los electrodos en:

- Delgados: protegen poco el metal fundido, por lo que sólo se utilizan en el aprendizaje de las técnicas de soldeo.
- Medios: obtienen mayor estabilidad del arco, permiten el soldeo con corriente alterna y protegen mejor al metal soldado. La escoria recubre al metal ya solidificado reduciendo su velocidad de enfriamiento y la oxidación.
- Gruesos: los electrodos con revestimiento grueso permiten obtener las mejores cualidades del metal soldado.

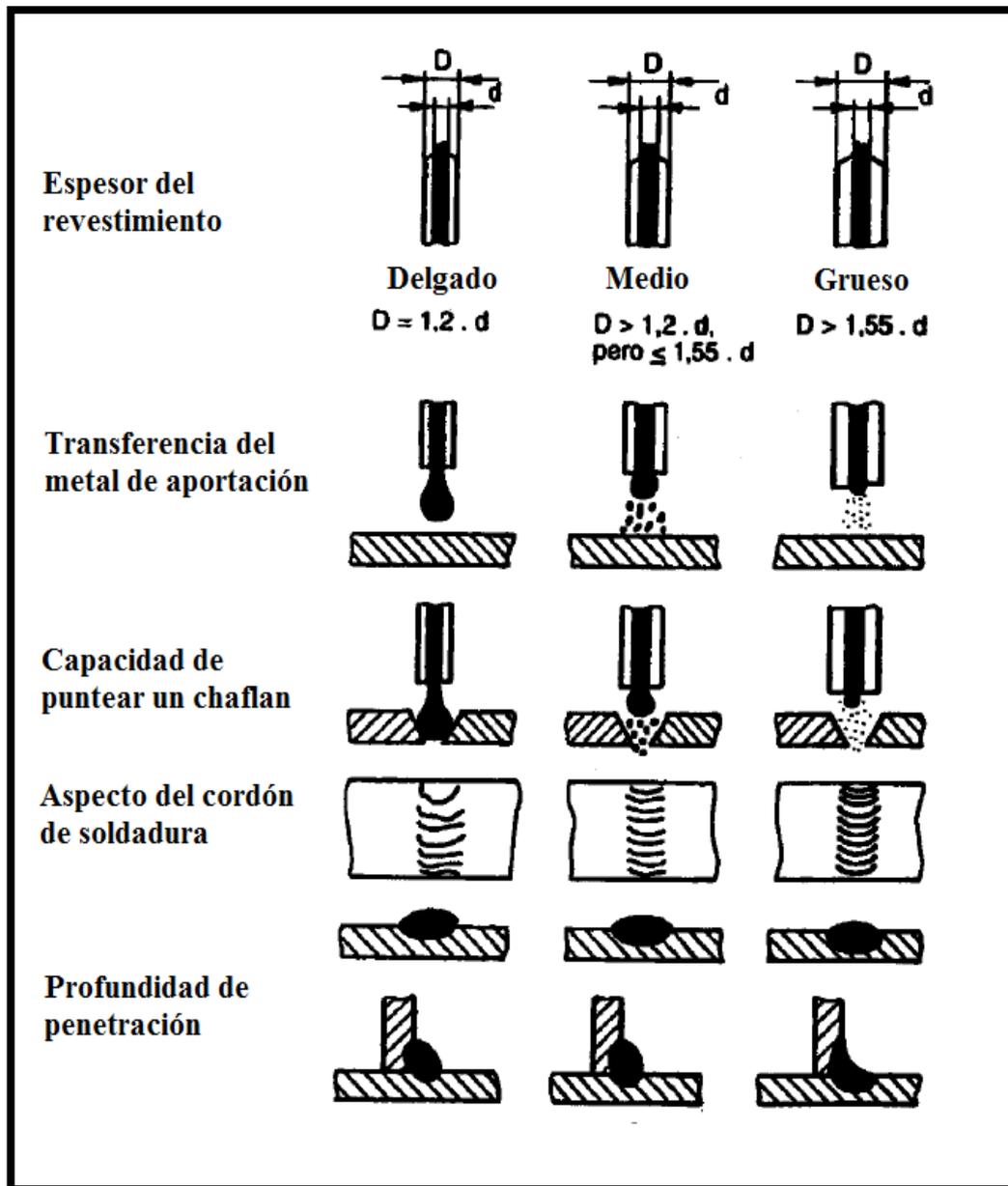


Figura 2.6 Clasificación del electrodo según el revestimiento.

Fuente: LINCOLN ELECTRIC, 2010, SMAW-SOLDEO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SMAW), Departamento de Formación Lincoln-KD S.A, Pag. 8

2.4.1.4 PARÁMETROS DE SOLDEO

➤ Diámetro del electrodo

En general, se deberá seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización, en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión, que son los parámetros de los que depende la selección del diámetro del electrodo.

Los electrodos de mayor diámetro se seleccionan para la soldadura de materiales de gran espesor y para la soldadura en posición plana (PA).

En la soldadura en posición cornisa (PC), vertical (PF) y bajo techo (PE), el baño de fusión tiende a caer por efecto de la gravedad, este efecto es tanto más acusado y tanto más difícil de mantener el baño en su sitio, cuanto mayor es el volumen de éste, es decir, cuanto mayor es el diámetro del electrodo, por lo que en estas posiciones convendrá utilizar **electrodos de menor diámetro**.

En el soldeo con pasadas múltiples el cordón de raíz conviene efectuarlo con un electrodo de pequeño diámetro, para conseguir el mayor acercamiento posible del arco al fondo de la unión, y asegurar una buena penetración.

El aporte térmico depende directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, parámetros dependientes del diámetro del electrodo, siendo mayor cuanto mayor es el diámetro del electrodo. Por tanto, cuando se requiera aporte térmico bajo, se recurrirá a electrodos de pequeño diámetro.

Por lo tanto, se deberá emplear:

- Electrodos de poco diámetro (2; 2,5; 3,2; 4 mm) en: punteado, uniones de piezas de poco espesor, primeras pasadas, soldaduras en posición cornisa, vertical y bajo techo, y cuando se requiera que el aporte térmico sea bajo.
- Electrodos con mayores diámetros para: uniones de piezas de espesores medios y gruesos, soldaduras en posición plana y recargues.

➤ **Intensidad de soldeo**

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse. Si se utilizara intensidades por encima de este rango, se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético, e incluso grietas.

La intensidad a utilizar depende de la posición de soldeo y del tipo de unión. Como regla práctica y general. Se deberá ajustar la intensidad a un nivel en el que “la cavidad” del baño de fusión sea visible. Si esta cavidad, conocida como ojo de cerradura, se cierra, significa que la intensidad de soldadura es demasiado baja, y si se hace muy grande indica que la intensidad es excesiva.

➤ Longitud del arco

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldadura y la intensidad de corriente. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro (ver figura 2.7).

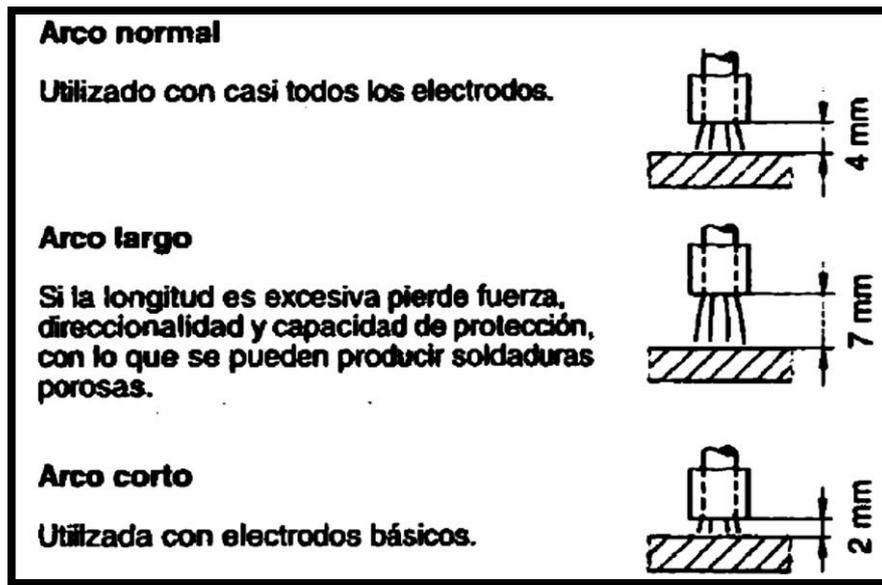


Figura 2.7 Longitudes de arco normales para un electrodo de 4 [mm].

Fuente: LINCOLN ELECTRIC, 2010, SMAW-SOLDEO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SMAW), Departamento de Formación Lincoln-KD S.A, Pag. 17

Es conveniente mantener siempre la misma longitud de arco, con objeto de evitar oscilaciones en la tensión e intensidad de la corriente y con ello una penetración desigual. En la soldadura en posición plana, se puede arrastrar ligeramente el extremo del electrodo, con lo que la longitud del arco vendrá automáticamente determinada por el espesor del revestimiento. En las primeras pasadas de uniones a tope y en las uniones en ángulo, el arco se empuja hacia la unión para mejorar la penetración. Cuando se produzca soplo magnético, la longitud del arco se debe acortar todo lo posible.

Un arco demasiado corto puede ser errático y producir cortocircuitos durante la transferencia de metal. Un arco demasiado largo perderá direccionalidad e intensidad, además el gas y el fundente generados por el revestimiento no son tan eficaces para la protección del arco y del metal de soldadura, por lo que se puede producir porosidad y contaminación del metal de soldadura con oxígeno e hidrógeno.

➤ Velocidad de desplazamiento

La velocidad de desplazamiento durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente el baño de fusión. Cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento menor es la anchura del cordón, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura. Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria, y se favorece el atrapamiento de gases (produciéndose poros).

➤ Orientación del electrodo

En la tabla 2.2 se relacionan las orientaciones típicas de los electrodos y las técnicas de soldeo con electrodos para acero al carbono, que pueden variar para otros materiales

Tabla 2.2 Orientaciones de los electrodos y técnicas de soldeo típicas en el soldeo manual con electrodos revestidos para aceros al carbono

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

Fuente: LINCOLN ELECTRIC, 2010, SMAW-SOLDEO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SMAW), Departamento de Formación Lincoln-KD S.A, Pag. 17 ^[5]

2.4.1.5 DEFECTOS EN LAS SOLDADURAS^[6]

Para introducir el tema “defectos en las soldaduras” es necesario, a los efectos de evitar errores de interpretación, comenzar definiendo términos tales como *discontinuidad, defecto, indicación, método de ensayo, evaluación de indicaciones, etc.:*

- **Discontinuidad.-** Falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto.

⁵ LINCOLN ELECTRIC, 2010, SMAW-SOLDEO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS (SMAW), Departamento de Formación Lincoln-KD S.A,

- **Defecto.-** Discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica. En particular, al realizar un ensayo no destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable.
- **Indicación.-** Respuesta o evidencia de una discontinuidad resultante de la aplicación de un END.
- **Evaluación de Indicaciones.-** Proceso en el cual se decide la severidad del estado de la parte o pieza, luego de que la indicación ha sido interpretada. De la interpretación surgirá que la indicación es irrelevante o es una discontinuidad, y en este último caso surgirá que es un defecto o no. Dicha evaluación lleva a decidir, entonces, si la parte o pieza debe ser rechazada, reparada o aceptada para su uso.
- **Indicaciones Irrelevantes.-** Las condiciones que las causan están presentes por diseño, por accidente, o por otras características de la pieza que no tienen relación con el defecto que está siendo investigado, por lo tanto se desprecian. Por ejemplo: a) indicaciones producidas por campos de fuga (*campos magnéticos que abandonan o entran a la superficie de la pieza en una discontinuidad en las propiedades magnéticas o en un cambio de sección de un circuito magnético*) en MT. b) indicaciones producidas por una raya en la película radiográfica en RT.
- **Método de Ensayo.-** Utilización de un principio físico en un END, como ser:
 - RT - Radiografía (Radiographic testing)
 - UT - Ultrasonido (Ultrasonic testing)
 - MT - Partículas magnetizables (Magnetic testing)
 - PT - Líquidos penetrantes (Penetrant liquids testing)
 - VT - Evaluación visual (Visual testing)
 - LT - Ensayo de estanqueidad (Leak testing)
 - ET - Corrientes parásitas (Eddy's current testing)
 - AE - Emisión acústica (Acoustic emission)

- **Procedimiento en END.-** Es el seguimiento metódico de las reglas que describen cómo la técnica específica será aplicada.
- **Técnica en END.-** Es la manera específica de utilización de un método en particular en END. Cada técnica es especificada por al menos una variable extra que lo distinga de otras técnicas dentro del mismo método. (Por ejemplo - Método: RT - Técnica: Rayos X / Rayos Gamma)
- **Indicaciones alargadas (linear indications).-** En general se clasifican como indicaciones alargadas a todas aquellas indicaciones cuya longitud L es mayor a 3 veces su ancho A: ($L > 3A$).
- **Indicaciones redondeadas (rounded indications).-** En general se clasifican como indicaciones redondeadas a todas aquellas indicaciones cuya longitud L es menor o igual a 3 veces su ancho A: ($L \leq 3A$).
- **Indicaciones alineadas (radiografía).-** Tres o más indicaciones alineadas aproximadamente paralelas al eje de la soldadura, espaciadas lo suficientemente cerca entre ellas como para ser considerada discontinuidad única e intermitente.

➤ **Discontinuidades**

Las discontinuidades más frecuentes que se encuentran en las soldaduras, o que están muy relacionadas con ellas, forman parte de los siguientes veinte tipos:

1) Porosidad (“Porosity”):

Discontinuidad del tipo de cavidad formada por gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura. Se divide a su vez en cuatro tipos:

a) Porosidad uniformemente dispersa

Es porosidad uniformemente distribuida a lo largo de la soldadura; causada por la aplicación de una técnica de soldadura incorrecta o por materiales defectuosos. Si la soldadura se enfría lo suficientemente lento para permitir que la mayor parte del gas pase a la superficie antes de la solidificación,

habrá unos pocos poros en la soldadura. Se adjunta la vista de una placa radiográfica con porosidad dispersa.

b) Porosidad agrupada (“Cluster porosity”)

Es un agrupamiento localizado de poros. Generalmente resulta por un inicio o fin inadecuado del arco de soldadura. Se adjunta una vista de una placa radiográfica con porosidad agrupada.

c) Porosidad alineada (“Linear porosity”)

Frecuentemente ocurre a lo largo de la interface metal de soldadura / metal base, la interface entre cordones de soldadura, o cerca de la raíz de soldadura, y es causada por la contaminación que provoca el gas por su evolución en esos sitios. Placa radiográfica con porosidad alineada en la raíz.

d) Porosidad vermicular o tipo gusanos (“Piping porosity”)

Es un poro de gas alargado. Este tipo de porosidad de soldadura se extiende desde la raíz hasta la superficie de la soldadura. Cuando uno o más poros son vistos en la superficie de la soldadura, un cuidadoso descarnado puede también revelar porosidad subsuperficial. De todas formas, muchas de las porosidades vermiculares encontradas en soldaduras no se extienden hasta la superficie.

2) Inclusiones (“Inclusions”)

a) Inclusiones de escoria (“Slag inclusions”)

Son sólidos no metálicos atrapados en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. Pueden encontrarse en soldaduras hechas por cualquier proceso de arco. En general, estas inclusiones resultan por fallas en la técnica de soldadura, en el diseño de la junta tal que no permita un acceso adecuado, o en una limpieza inadecuada entre los cordones de la soldadura. Placa radiográfica mostrando inclusiones de escoria entre los cordones. Normalmente, la escoria disuelta fluirá hacia la parte superior de la soldadura, pero muescas agudas en la interfase de metal base y de soldadura, o entre los cordones de soldadura, frecuentemente provocan que la escoria quede atrapada bajo el metal de soldadura. A veces se observan inclusiones de escoria alargadas alineadas en la raíz de la soldadura, denominadas “carrileras” (“wagon tracks”); se adjunta una vista de una placa radiográfica con estas inclusiones carrileras.

b) Inclusiones de Tungsteno

Son partículas de Tungsteno atrapadas en el metal de soldadura y son exclusivas del proceso GTAW (TIG). En este proceso, un electrodo de Tungsteno no consumible es usado para crear el arco entre la pieza y el electrodo. Si el electrodo es sumergido en el metal, o si la corriente es fijada en un valor muy alto, se depositarán gotitas de Tungsteno, o se romperá la punta del electrodo y quedará atrapado en la soldadura. Dichas inclusiones aparecen como manchas claras en la radiografía, pues el Tungsteno es más denso que el acero y absorbe más radiación; se adjunta una vista de una placa radiográfica con inclusiones de tungsteno. Casi todas las demás discontinuidades, incluyendo las inclusiones de escoria, se muestran como áreas oscuras en las radiografías porque son menos densas que el acero.

3) Fusión incompleta (“Incomplete fusion”) (o falta de fusión)

Discontinuidad bidimensional causada por la falta de unión entre los cordones de soldadura y el metal base, o entre los cordones de la soldadura. Es el resultado de técnica de soldadura, preparación del metal base, o diseño de la junta inapropiados. Entre las deficiencias que causan la fusión incompleta se destacan el insuficiente aporte de calor de soldadura, falta de acceso a toda la superficie de fusión, o ambas. El óxido fuertemente adherido interferirá con una completa fusión, siempre que haya un correcto acceso a las superficies de fusión y un adecuado aporte de calor a la soldadura. Aquí se muestran varios croquis de soldaduras con fusión completa y otros tantos croquis con fusión incompleta. Vista de una placa radiográfica con falta de fusión del metal base y otra con falta de fusión entre cordones.

4) Penetración incompleta o falta de penetración (“Incomplete joint penetration”)

Ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta. El área no fundida ni penetrada es una discontinuidad descrita como “penetración incompleta”. Esta puede resultar de un insuficiente aporte de calor de soldadura, diseño de la junta inapropiado (por ejemplo demasiado espesor para ser penetrado por el arco, o chanfle insuficiente), o control lateral

inapropiado del arco de soldadura. Algunos procesos tienen una mayor capacidad de penetración que otros. Las soldaduras en cañerías son especialmente vulnerables a este tipo de discontinuidad, dado que el lado interior es usualmente inaccesible. Los diseñadores frecuentemente emplean una planchuela de respaldo para auxiliar a los soldadores en tales casos; en ANCAP – División Industrialización se prohíben estos respaldos en cañerías. Para juntas soldadas de ambos lados, se puede especificar que se remueva el metal de soldadura y el metal base de la soldadura de raíz antes de soldar el otro lado, para asegurarse que allí no hay penetración incompleta. Este procedimiento se denomina en inglés “back gouging”. La penetración incompleta también causa una fusión incompleta, y por consiguiente en muchas circunstancias ambos conceptos se mezclan. Se adjuntan una serie de croquis con uniones soldadas mostrando penetraciones completas e incompletas: en esta figura hay penetración completa e incompleta, en esta otra figura todos los croquis muestran penetración incompleta, y finalmente estos dibujos muestran dos causas diferentes de la falta de penetración en soldaduras mecanizadas del tipo SAW (el primer caso es por excentricidad en los cordones, y el segundo caso puede ser por falta de aporte térmico). Vista de una placa radiográfica con falta de penetración, donde se observa claramente la falta de fusión de ambos bordes de la raíz.

5) Fisuras (“Cracks”)

Ocurren en el metal base y en el metal de aporte, cuando las tensiones localizadas exceden la resistencia última del material. La mayor parte de las normas utilizadas en ANCAP consideran que las fisuras son, independientemente de su longitud, defectos y por lo tanto una vez detectadas deben removerse, eliminarse. Las fisuras pueden clasificarse en:

- a) **Fisuras en caliente:** se desarrollan durante la solidificación y su propagación es intergranular (entre granos).
- b) **Fisuras en frío:** se desarrollan luego de la solidificación, son asociadas comúnmente con fragilización por hidrógeno. Se propagan entre y a través de los granos (inter y transgranular).

Según su forma, las fisuras también se pueden clasificar en:

- A. Fisuras longitudinales:** son paralelas al eje de la soldadura. En soldaduras de arco sumergido, son comúnmente asociadas con altas velocidades y a veces están relacionadas con problemas de porosidad, que no se muestran en la superficie. Fisuras longitudinales en pequeñas soldaduras entre grandes secciones, son frecuentemente el resultado de un alto grado de enfriamiento y de grandes restricciones. Vista de una placa radiográfica mostrando fisuras longitudinales.
- B. Fisuras transversales:** generalmente son el resultado de esfuerzos debido a contracciones longitudinales actuando en metales de soldadura de baja ductilidad. Vista de una placa radiográfica con tres fisuras transversales.
- C. Cráteres:** ocurren cuando el arco es terminado incorrectamente. Generalmente tienen forma de estrella. Son superficiales, se forman en caliente y usualmente forman redes con forma de estrella.
- D. De garganta:** son fisuras longitudinales ubicadas en la cara de la soldadura. Generalmente, pero no siempre, son fisuras en caliente.
- E. De borde:** son generalmente fisuras en frío. Se inician y propagan desde el borde de la soldadura, donde se concentran los esfuerzos de contracción. Se inician perpendicularmente a la superficie del metal base. Estas fisuras son generalmente el resultado de contracciones térmicas actuando en la zona afectada térmicamente (ZAT).
- F. De raíz:** son longitudinales, en la raíz de la soldadura o en la superficie de la misma. Pueden ser fisuras en caliente o en frío. Vista de una placa radiográfica con fisuras longitudinales de raíz.
- G. Fisuras bajo el cordón y fisuras en la ZAT:** son generalmente fisuras en frío que se forman en la ZAT del metal base. Son generalmente cortas, pero pueden unirse para formar una fisura continua. Las que se dan bajo el cordón, pueden convertirse en un serio problema cuando están presentes: hidrógeno, microestructura poco dúctil y altos esfuerzos residuales. Ambas pueden ser fisuras en caliente o en frío. Son encontrados a intervalos regulares bajo la soldadura y también por el contorno de la ZAT donde los esfuerzos residuales son máximos.

6) Socavadura / mordedura (“Undercut”)

Asociadas generalmente con técnicas inapropiadas y/o corrientes excesivas de soldadura. La socavadura es una muesca o canaleta o hendidura ubicada en los bordes de la soldadura; es un concentrador de tensiones y además disminuye el espesor de las planchas o caños, todo lo cual es perjudicial. Pueden darse en la raíz o en la cara de la soldadura. Cuando la socavadura es controlada, su longitud está dentro de los límites especificados y no constituye una muesca profunda, no es considerada un defecto de soldadura.

7) Concavidad (“Underfill”)

Se produce cuando el metal de soldadura en la superficie de la cara externa, o en la superficie de la raíz interna, posee un nivel que está por debajo de la superficie adyacente del metal base. Cuando el soldador tiene acceso por ambos lados de la soldadura, o cuando se da en la cara externa, esta discontinuidad es fácilmente evitable mediante el relleno completo de la unión; por el contrario cuando la concavidad es interna (en la raíz) donde el soldador no tiene acceso (por ejemplo en soldadura de cañerías), si se tiene que eliminar debe removerse, descarnarse, por completo la soldadura en esa zona.

8) Garganta insuficiente (“Insufficient throat”)

Puede ser debido a una depresión en la cara de la soldadura de filete, disminuyendo la garganta, cuya dimensión debe cumplir la especificación dada por el proyectista para el tamaño del filete. Las fallas del soldador pueden ser: a) no obtener fusión del metal base en la raíz de la soldadura, o b) no depositar suficiente metal de relleno en el área de garganta (en la cara del filete). En los siguientes croquis se observan las gargantas efectivas de dos soldaduras filete con problemas de diversa índole.

9) Catetos demasiado cortos (“Insufficient legs”)

Es un tamaño menor que el adecuado para su uso, en los catetos de la soldadura de filete. Es de índole similar a la discontinuidad anterior.

10) Solape (“Overlap”) (Metal de soldadura apoyado sobre el metal base sin fundirlo)

Es la porción que sobresale del metal de soldadura más allá del límite de la soldadura o de su raíz. Se produce un falso borde de la soldadura, estando el metal de soldadura apoyado sobre el metal base sin haberlo fundido (como que se derramó el metal fundido sobre el metal base). Puede resultar por un deficiente control del proceso de soldadura, errónea selección de los materiales, o preparación del metal base inapropiados. Si hay óxidos fuertemente adheridos al metal base, provocarán seguramente esta discontinuidad. Este metal de soldadura, que ha sido derramado sobre el metal base, es una discontinuidad superficial que forma un concentrador de tensiones similar a una fisura y, por consiguiente, casi siempre es considerada inadmisibles (defecto).

11) Sobremonta excesiva (“Weld reinforcement”)

La sobremonta es un concentrador de tensiones y, además, un exceso de ésta aumenta las tensiones residuales, presentes en cualquier soldadura, debido al aporte sobrante. Por estos motivos las normas limitan el valor de R, que en general no debe exceder de 1/8” (3mm).

12) Laminaciones (“Laminations”)

Son discontinuidades planas y alargadas en el metal base, encontrándose normalmente en la parte media del espesor de los materiales forjados (como lo son las planchas de acero utilizadas para construcción de recipientes o tanques, que se producen por laminado (rolado), el cual es un proceso de forja). Las “laminaciones” pueden ser totalmente internas y en este caso serán detectadas sólo mediante UT. Si por el contrario se extienden hasta un borde de la plancha pueden ser detectadas mediante MT o PT. Usualmente las normas establecen que no se permitan realizar soldaduras sobre bordes de planchas donde haya afloramiento de “laminaciones”, porque éstas podrían comportarse como fisuras que se propagarán por la soldadura.

13) Fisuras laminares (“Lamellar tears”)

Son fracturas en forma de terraza en el metal base, con orientación básicamente paralela a la superficie forjada. Son causadas por altos esfuerzos en la dirección

del espesor que resultan del proceso de soldadura. Se pueden extender largamente, iniciándose en regiones donde el metal base tiene inclusiones no metálicas coplanares y/o en áreas del metal base sujetas a altos esfuerzos por la soldadura. La fractura usualmente se propaga desde un plano laminar a otro por corte a lo largo de líneas que son casi normales a la superficie laminada.

14) Golpes de arco / apertura de arco / arranque de arco / chisporroteo (en el material base fuera de la soldadura) (“Arc strike”)

Imperfección localizada en la superficie del metal base, caracterizada por una ligera adición o falta de metal, resultante de la apertura accidental del arco eléctrico. Normalmente se depositará sobre el metal base una serie de pequeñas gotas de acero que pueden originar microfisuras; para evitar la aparición de microfisuras esas pequeñas gotas deben ser eliminadas mediante amolado de la superficie afectada.

15) Desalineación (“High – Low”)

Esta discontinuidad se da cuando en las uniones soldadas a tope las superficies que deberían ser paralelas se presentan desalineadas; también puede darse cuando se sueldan dos caños que se han presentado excéntricamente, o poseen ovalizaciones. Las normas limitan esta desalineación, normalmente en función del espesor de las partes a soldar. Es frecuente que en la raíz de la soldadura esta desalineación origine un borde sin fundir.

16) Salpicaduras (“Spatter”)

Son los glóbulos de metal de aporte transferidos durante la soldadura y adheridos a la superficie del metal base, o a la zona fundida ya solidificada. Es inevitable producir cierto grado de salpicaduras, pero deben limitarse eliminándose, aunque más no sea por estética, de la superficie soldada. Las salpicaduras pueden ser origen de microfisuras (como los arranques de arco sobre el metal base), y simultáneamente son un punto de inicio de la oxidación en superficies pintadas ya que tarde o temprano estos glóbulos podrán desprenderse del metal base, llevando consigo la pintura superficial allí localizada.

17) Penetración excesiva (“Excessive penetration”)

En una soldadura simple desde un solo lado (típicamente soldaduras de cañerías), esta discontinuidad representa un exceso de metal aportado en la raíz.

18) Rechupes (de cráter)

Es la falta de metal de soldadura resultante de la contracción de la zona fundida, localizada en la cara de la soldadura.^[6]

2.4.1.6 PRECALENTAMIENTO^[7]

En el curso de inspectores de soldadura – IAS, Modulo “Tratamiento térmico de soldadura”, el ingeniero Sergio G. Laufgang, expresa que el precalentamiento “Consiste en calentar el Material Base antes y durante la soldadura manteniendo la Temperatura del mismo entre un valor mínimo (Temperatura de Precalentamiento) y uno máximo (Temperatura entre pasadas) por alguna o varias de las siguientes razones.^[7]

Si calentamos el material previamente a la soldadura, disminuimos el nivel termico desde la temperatura de fusion, desplazando la curva de enfriamiento hacia la derecha del diagrma T-T-T (Teemperatura, tiempo, transformacion) como se muestra en la figura.^[8]

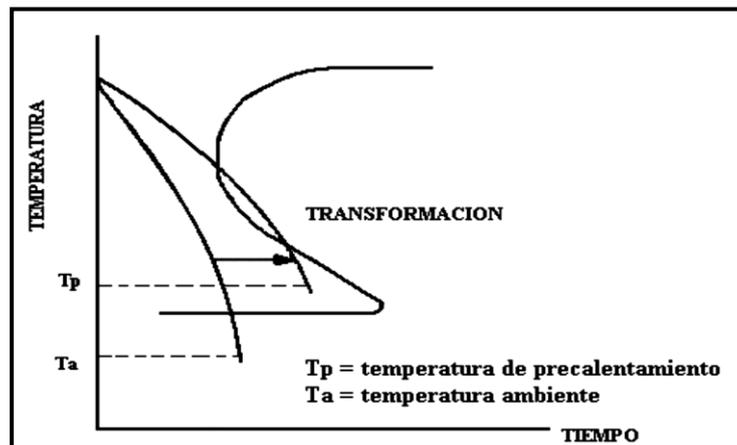


FIGURA 2.8 Desplazamiento de la curva

Fuente: Ing. Alejandro Chelen, Ing. Victor Galleguillos, Enero-Marzo 2001, "Optimización de los parámetros de soldadura para las realizaciones de uniones soldadas del acero A514 grado B", ULS, Pág. 43.^[8]

⁶ CURSO INTERNO DE LA EMPRESA ANCAP, 25 de Noviembre de 2004. "Discontinuidades, defectos, aplicación de normas". Uruguay. Pág. 19. Paysandú, Website: http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&cad=rja&ved=0CGsQFjAN&url=http%3A%2F%2Fwww.aendur.ancap.com.uy%2Feventos%2F2002%2FPAYEND%25202005%2FDISCONTINUIDADES%2C%2520DEFECTOS%2C%2520NORMAS%2520%2520PAYEND%25202005.DOC&ei=jAm3UKHvJI--9gTotYHICA&usq=AFQjCNHlyj38G1zGFfp_VKCbJpMbcFVAGw

- El precalentamiento es la principal defensa contra la Fisuración Inducida por Hidrogeno (HIC) permitiendo a este difundir fuera del metal de soldadura.
 - Disminuye la velocidad de enfriamiento del metal de soldadura y de la (ZAT), el resultado es una microestructura más dúctil y resistente a la fisuración.
 - Disminuye algo las Tensiones Residuales al reducir la diferencia de temperatura entre el Metal de Soldadura y el material base minimizando la contracción.
 - Mantiene al acero a una temperatura superior a aquella por debajo de la cual ocurre fractura frágil.
 - Compensa las pérdidas de calor en secciones gruesas de acero y especialmente en aleaciones de alta conductividad térmica como cobre o aluminio evitando fallas por falta de fusión del Material Base.
 - Reduce la porosidad debida a la presencia de humedad
- 1) Sobre el efecto deshidrogenante del precalentamiento y en particular su influencia en la HIC vale todo lo comentado en el capítulo de Deshidrogenado y conviene una relectura profunda del mismo. Es importante no olvidar fuentes obvias de Hidrógeno como puede ser humedad, Lubricantes, o Hidrocarburos en la junta soldada o en el alambre de aporte como así también herrumbre u “óxido” puede ser fuente de Hidrógeno debido a que los mal llamados “óxidos” realmente son hidróxidos de Hierro $Fe(OH)_3$
 - 2) El Precalentamiento (PC) disminuye la velocidad de enfriamiento del metal soldado evitando la formación de constituyentes de temple duros tales como Martensita y a veces Bainita.

La capacidad de adquirir temple por un acero depende de su %C y de los elementos de aleación. El %C, además de aumentar la Templabilidad como un elemento de aleación más, define la máxima dureza que puede tomar el acero por un temple completo y los elementos de aleación definen la velocidad de enfriamiento desde el rango austenítico necesaria para poder lograrlo.

Cuanto mayor sea el % C mayor será la dureza posible a obtener y cuanto mayor sea la cantidad de aleantes menor será la velocidad de enfriamiento necesaria para

⁸ ING. ALEJANDRO CHELEN, ING. VICTOR GALLEGUILLOS, Enero-Marzo 2001, "Optimización de los parámetros de soldadura para las realizaciones de uniones soldadas del acero A514 grado B", ULS, Pag: 43

obtenerla. Esto significa que ambos, %C y % de aleantes disminuyen la Soldabilidad de un acero pues aumentan su Templabilidad.

Además de su inherente fragilidad estas estructuras duras son más susceptibles a la Fisuración por hidrógeno (HIC) y a la Corrosión bajo Tensión (SCC)

La influencia del Pre calentamiento acerca de su habilidad para evitar la formación de estructuras duras se puede observar claramente en el caso de aceros aleados, por ejemplo el acero SA-335 Gr. P5 con 5% de Cr y 0,5% de Mo. Si este acero es soldado sin pre calentamiento presenta una ZAT totalmente Martensítica con durezas de aproximadamente HB 450.

Si en cambio la soldadura se realiza con pre calentamiento de 300°C la cantidad de Martensita en la ZAT es solo del 50% y la dureza es algo superior a 300HB. Como la dureza requerida en este acero cuando se usa en la industria Petroquímica (ASME B 31.3) Para. 331.1.7 y tabla 331.1.1 deben ser como máximo 241HB para evitar SCC en la ZAT y/o metal de soldadura se hace imprescindible realizar un TOPS para revenir ese 50% de Martensita remanente luego de la soldadura con PC y así disminuir la dureza a valores inferiores a 241HB.

Cuando se sueldan aceros al CrMo si el PC no se hace correctamente (temperatura insuficiente) y no disminuye la dureza lo previsto, luego el TOPS especificado (pensado para un PC correcto) podría no ser suficiente en tiempo o temperatura de permanencia teniéndose que repetir el TOPS a cargo del responsable del PC con los conflictos correspondientes. Por esto se debe realizar el PC a la temperatura establecida en el Procedimiento de Soldadura, y no a menos temperatura, suponiendo que luego el TOPS "compensa" las deficiencias de Temperatura de PC, por otra parte muy comunes, debido a que una temperatura de 300°C no es fácil de mantener y suele ser incómoda para el soldador.

Conviene añadir que si el pre calentamiento no se hizo a la temperatura establecida en el procedimiento de Soldadura pueden aparecer fisuras durante el enfriamiento que ningún TTPS podrá reparar. Además no conviene esperar toda la disminución de dureza a cargo del TTPS olvidándonos del control del PC pues el inspector podría

requerir Ensayos 100% para detectar posibles fisuras nuevamente luego del TTPS aunque la dureza sea la requerida si sospecha que el PC no se hizo correctamente.

- 3) El PC aunque en menor medida que el TTPS también reduce algo las tensiones residuales. Por ejemplo un PC de 200°C reduce las tensiones residuales en aproximadamente un 15% a 20%.
- 4) Los principales factores que influyen en la transición de fractura dúctil a fractura frágil en metales con una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (bcc) [Aceros Ferríticos], son la Triaxialidad, la Velocidad de aplicación de la Carga y la Temperatura. La transición frágil / dúctil puede ser explicada en términos de la resistencia relativa al corte y al clivaje y cómo cambian ellas con la Temperatura. En concreto, cuanto más baja sea la temperatura del material su plasticidad será menor y un precalentamiento influirá en la posibilidad de fisuración durante la Soldadura.
- 5) La alta conductividad térmica de algunos materiales base como Cobre y / o Aluminio (y aun en aceros de alto espesor) hace difícil su fusión por lo que se producen faltas de fusión que son causa de rechazo. Las Temperaturas de PC en cobre para 19 mm de espesor son inusualmente altas comparadas con las temperaturas de PC del acero. En estos casos se suele precalentar a 400 / 600 °C y no menos.
- 6) La presencia de humedad en el material base es inaceptable por la posible presencia de poros y aun fisuración por HIC. En estos casos, cuando se prevea la posibilidad de condensación por un clima muy húmedo o mañanas con rocío se debe precalentar a 90°C / 100°C para evaporar la humedad. Por debajo de 0°C no se debe soldar.

2.4.1.7 TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO

Se llama así a la temperatura que debe alcanzar el metal base inmediatamente antes que comience el proceso de soldeo y que normalmente debe mantenerse entre pasadas, en el caso de soldadura de múltiples pasadas. Se aplica localmente por resistencias térmicas (mantas térmicas) o llama de gas. En la practica el

precalentamiento de las soldaduras se realiza localmente de esta forma la distribución de la temperatura antes de soldar no es homogénea.

El tipo de precalentamiento localizado y homogéneo, puede afectar significativamente la evolución del hidrogeno de la soldadura. Al precalentar con un quemador de gas se calienta la superficie de un espécimen más rápido que el interior y la temperatura de precalentamiento se mide en la superficie.

Es aconsejable precalentar sobre una zona superior a cuatro veces el espesor de la pieza y ambos lados del cordón, con un mínimo de 75[mm] a cada lado del eje de la soldadura. Cuando el espesor supere a los 25 [mm] es suficiente la aplicación de calor a una banda de 100 [mm] a cada lado. Si el precalentamiento se lleva acabo con llama, esta debe repartirse adecuadamente de modo que no permanezca fija en ningún punto de la superficie calentada.

La temperatura se debe medir, siempre que sea posible, en la cara opuesta a la que se está aplicando la fuente de calor, por medio de termopares o tizas termo - indicadores. Si la temperatura no se puede medir por el lado contrario a la aplicación del calor, se debe esperar alrededor de 1 minuto por pulgada de espesor del material, para permitir que se igualen las temperaturas, antes de efectuar la medición de temperatura. Esta se tomara a una distancia mínima de 75[mm] del eje de soldadura.
[7]

2.4.1.8 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO.^[9]

Metal Handbook edición 2004 en el capítulo 6 establece un método para las fundiciones de hierro mediante la obtención del carbono equivalente.

El procedimiento fue utilizado para demostrar una correlación entre la CE de una pieza de fundición y una temperatura de no fisuramiento. Estos datos deben utilizarse sólo como una guía para establecer una temperatura de precalentamiento para una fundición.

7 ING. LAUFGANG G. Sergio, 21 / 04 / 2004, "Tratamiento térmico de soldadura ", Curso de inspectores de soldadura -IAS, Pag: 41 Web site: <http://materias.fi.uba.ar/6713/CursoIASListook.pdf>

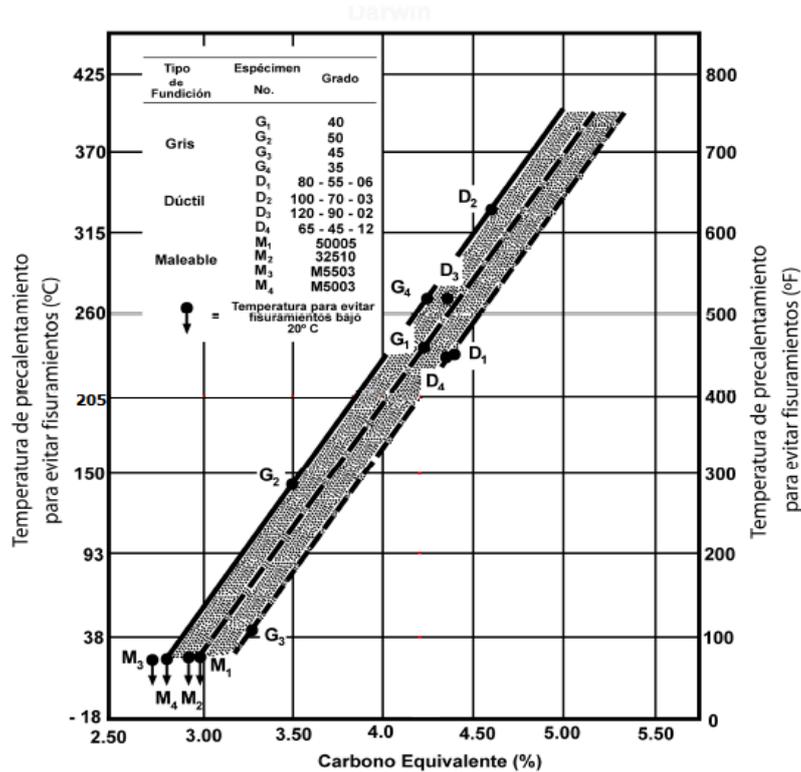


Figura 2.9 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO NO CRACK. CON EL CARBONO EQUIVALENTE.
 (Fuente: Roger A. Bushel, Te ESA Group, METAL HANDBOOK, 1993, Volumen 6, Soldabilidad de las fundiciones grises, AWS, Pag. 1751)

Precaentamiento se aplica para controlar la microestructura de la zona de soldadura. La influencia de precaentamiento en la microestructura en un hierro fundido típico se indica a continuación:

Tabla 2.3 Transformaciones de la microestructura del hierro fundido

TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO		RESULTADO DE LA MICROESTRUCTURA
C°	F°	
22	72	MARTENCITA
100	212	TRANSFORMACIONES PERLITA PUEDE OCURRIR.
200	392	UNA MAYOR PROPORCIÓN DE MARTENSITA Y CARBUROS SE SUSTITUYEN POR PERLITA.
300	572	CASI TODO MARTENSITA SE SUSTITUYE POR PERLITA
400	752	TODA LA MARTENCITA SE TRANSFORMA

Fuente: Roger A. Bushey, The ESAB Group, METAL HANDBOOK, 1993, Volumen 6, Soldabilidad de las fundiciones grises, AWS, Pag. 1752

El precalentamiento a temperaturas superiores a 315 ° C (600 ° F) disminuye la velocidad de enfriamiento hasta el punto de que la formación de martensita es minimizada, reduciendo la tendencia de la fundición a agrietarse. El enfriamiento lento también ayuda a minimizar las tensiones residuales.

El precalentamiento debe hacerse correctamente. Precalentamiento debe aplicarse de manera que la junta de soldadura está en compresión no, la tensión (Fig. 4). Si el método adecuado se utiliza mientras que el metal de soldadura se contrae durante el enfriamiento, el metal de base también se contraerá.^[9]

2.4.2 MÉTODOS DE PRECALENTAMIENTO PRECEDENTE A LA SOLDADURA

2.4.2.1 Tratamiento térmico localizado^[7]

Durante la fabricación en taller, las soldaduras son tratadas como vimos anteriormente, en horno. Si el tamaño excede las dimensiones del horno o no hay uno disponible, la Unión Soldada y el material base adyacente pueden ser calentados localmente por uno de los métodos descritos a continuación.

Tabla 2.4. Métodos de precalentamiento.

MÉTODO DE PRECALENTAMIENTO	SE APLICA AL
Resistencias eléctricas	TTPS o PC
Inducción	TTPS o PC
Llama	PC
Radiación por calefactores a gas tipo infrarrojo	PC
Radiación con lámparas de cuarzo	PC
Exotérmico	TTPS

(Fuente: ING. LAUFGANG G. Sergio, 21 / 04 / 2004, "Tratamiento térmico de soldadura, "Curso de inspectores de soldadura – IAS, Pág.: 12)

En el caso de Tratamiento Térmico de Soldadura es muy común utilizar el Tratamiento Localizado solo en la zona de la Soldadura (Se calienta una banda a cada lado del cordón soldado, cuyo ancho está especificado en los códigos).

Hay básicamente dos tecnologías diferentes cada una con su aplicación aprovechando las ventajas de una u otra. Un método es el calentamiento por resistencias eléctricas y el otro es el calentamiento por inducción.

⁹ Roger A. Bushey, The ESAB Group, METAL HANDBOOK, 1993, Volumen 6, Soldabilidad de las fundiciones grises, AWS

Es importante aclarar que el tratamiento localizado solo puede ser aplicado a geometrías que permitan la libre dilatación como son las soldaduras circunferenciales.

Las soldaduras longitudinales y las uniones soldadas de conexiones a envolventes o deben tratarse localizadamente pues el material frío aledaño a la zona calentada no permite a esta la libre dilatación.

En el caso de costuras longitudinales la zona calefaccionada no puede dilatarse libremente en la dirección del cordón y en el caso de conexiones a envolvente si calefaccionamos el círculo alrededor de la conexión este no puede dilatarse porque está restringido por el material frío alrededor de él.

En estos casos el material tiende a dilatarse en la dirección del espesor y como está caliente y blando por el efecto de la temperatura, se deforma plásticamente en esa dirección. Cuando la costura longitudinal se enfría, debería contraerse en esa dirección pero el material aledaño que está frío no se lo permite creándose de esta manera, tensiones residuales longitudinales.

En el caso de una conexión a envolvente ocurre algo similar quedando tensiones radiales y tangenciales en el círculo calentado.

Si bien esto es así y ASME* no permite realizar TTPS localizados en juntas soldadas longitudinales el Welding Institute recomienda en casos excepcionales hacerlo con valores de ancho de banda suficientemente altos que reducen las tensiones térmicas a valores casi nulos.

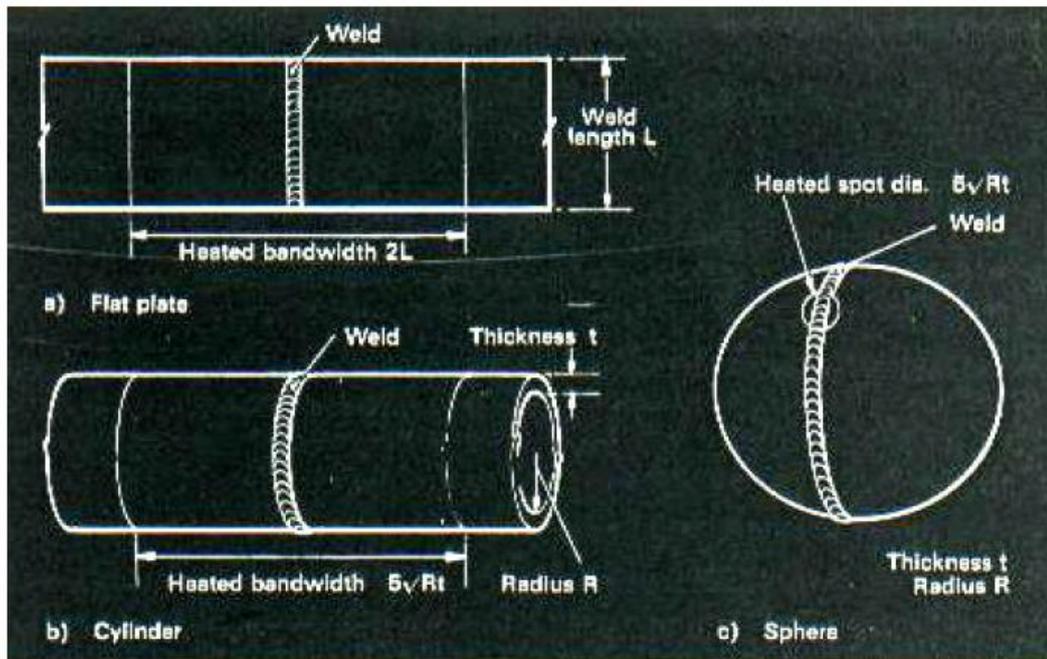


Figura 2.10: Ancho de banda en Tratamientos Localizados para conseguir el relevo de las Tensiones Residuales en: a) Chapa plana. b) Juntas a Tope en cilindros c) Juntas a Tope en Esferas. Welding Institute. Abington Hall. Abington. Cambridge.U.K.
(Fuente: ING. LAUFGANG G. Sergio, 21 / 04 / 2004, "Tratamiento térmico de soldadura", Curso de inspectores de soldadura – IAS, Pág.: 12)

De la Fig. 2.10 se puede observar que para una misma longitud del cordón de soldadura, por ejemplo 30", en el caso de ser circunferencial (corresponde a un caño de aproximadamente 10" de diámetro) el ancho de banda se calcula con $AB = 5\sqrt{Rt}$ donde R es el radio del caño y t su espesor (1") que da como resultado un ancho de banda de 11,2".

En cambio si ese mismo cordón, en vez de ser circunferencial es plano (corresponde a una chapa plana) el ancho de banda se calcula con $AB = 2L$ y el resultado es un ancho de banda de 60" mostrando que el calentamiento localizado de la configuración plana necesita un ancho de banda mayor ya que genera tensiones térmicas superiores a la de la configuración circular correspondiente a un caño debido precisamente a que la configuración plana impide, como ya lo explicamos anteriormente, la libre dilatación del cordón de soldadura durante el calentamiento localizado.

➤ **Calentamiento por llama. (Ver “ANSI / AWS D10.10-90. 5.1”)**

En calentamientos localizados de soldaduras con una o más llamas (antorchas), la operación de calentamiento es **más un arte que una ciencia**. La cantidad de calor aportado y la concentración del mismo dependen no solo de la cantidad de combustible y de la calidad de la combustión sino también del ajuste de la llama, la distancia entre la llama y la soldadura, el manejo de la llama por el operador, y el control de las pérdidas de calor a la atmósfera. En vista de lo anterior es preferible la utilización de otros métodos.

El calentamiento por llama es útil en precalentamiento de soldadura a bajas temperaturas (< 200°C) o piezas pequeñas. Este método debe aplicarse con cuidado y solo por un operador / supervisor con experiencia. Tiene una mínima precisión, repetibilidad, y mínima uniformidad de temperatura. El riesgo de dañar la soldadura es realmente alto.

➤ **Calentamiento por horno**

Horno Fijo o Estacionario. Como su nombre lo indica son hornos fijos, construidos dentro de una planta y los equipos deben ser llevados al mismo introducidos generalmente con puentes grúas. El piso de estos hornos suele ser móvil para facilitar la carga y descarga. En el caso de hornos antiguos la aislación térmica está realizada con ladrillos refractarios. En los modernos la aislación es de fibra cerámica, que posee una inercia térmica menor disminuyendo los tiempos de tratamiento y el gasto de combustible.

Los hornos portátiles, o modulares son hornos desarmables que se pueden llevar al lugar donde se está fabricando el o los equipos. Se llevan los módulos en vehículos y se arman a medida del tamaño de los equipos a tratar. Tienen la ventaja de poderse modificar las dimensiones agregando o quitando módulos. Están realizados con paneles revestidos exteriormente en chapa galvanizada e interiormente aislados con fibra cerámica. Al igual que los hornos fijos la medición de la Temperatura suele hacerse con Termocuplas de ambiente, en este caso se debe estar seguro de la uniformidad de temperatura en todos los puntos del horno. Es importante que los quemadores no incidan sobre el equipo a tratar ya que pueden producirse

sobrecalentamientos localizados que aumentan el tamaño de grano y producen estructuras frágiles.^[7]

2.4.3 SOLDABILIDAD.^[10]

Molera Sola Pere en su libro “Soldadura industrial: clases y aplicaciones” se expresa así de la soldabilidad “Se entiende por soldabilidad la facilidad con que un metal puede conformar por soldadura de sus partes, así como la habilidad de la unión soldada para resistir las condiciones de servicio. En la práctica se distinguen varios tipos de soldabilidad. Existe la soldabilidad operatoria, la soldabilidad metalúrgica y la soldabilidad constructiva.

- **La soldabilidad operatoria** es indispensable y determina el que un material pueda o no ser soldado. La madera, la piedra y el papel, por ejemplo no tienen soldabilidad operatoria. La soldabilidad operativa está relacionada con el enlace de los átomos, de las moléculas o de los iones que forman el material
- **La soldabilidad metalúrgica** determina hasta qué punto puede soldarse dos metales sin que su composición represente inconvenientes graves por fusión, oxidación, tratamiento térmico, etc. La soldabilidad constructiva se refiere a la facilidad con la que puede unirse dos metales para lograr formas que resistan los esfuerzos a que van estar sometidos garantizando su duración. La soldabilidad metalúrgica puede mejorarse en aceros al cromo y aceros al aluminio, empleando fundentes o flujos que reaccionen con los óxidos de cromo y aluminio formando escorias.
- **La soldabilidad constructiva** depende de las transformaciones que ocurren en las piezas durante la soldadura, que pueden incluso afectar a sus características mecánicas y a sus propiedades. En la metalúrgica de la unión soldada se ven dos partes bien diferenciadas, el cordón de soldadura, sus alrededores, y el metal base. En ella se han sucedido un proceso de fusión otro de tratamiento térmico y un tercero de enfriamiento, durante los cuales se operan los cambios y transformaciones que determinan la soldadura metalúrgica.

⁷ ING. LAUFGANG G. Sergio, 21 / 04 / 2004, "Tratamiento térmico de soldadura", Curso de inspectores de soldadura –IAS, Pag: 41 Web site: <http://materias.fi.uba.ar/6713/CursoIASListook.pdf>

Para manejar el factor soldabilidad de cada metal al tratar su soldadura, se designa con un número variable entre 0 y 10, llamado coeficiente de *soldabilidad* por el grado de homogeneidad de la unión. En el caso de los aceros este coeficiente depende en gran parte del contenido de carbono de las piezas a soldar y aumenta con dicho contenido”.^[10]

2.4.3.1 SOLDABILIDAD DE LA FUNDICIÓN GRIS^[11]

Maury Ramírez y Heriberto Enrique En su libro **“Diseño para la fabricación y ensamblaje de productos soldados”** manifiesta: “Al soldar hierro fundido la ductibilidad de la soldadura es crítica por la fragilidad del hierro fundido en sí.

Todos los grados de hierro fundido tienen un alto contenido de carbono, en un rango generalmente de 2% a 4%. Los grados de hierro fundido contienen un total de carbono de 2,5% a 3,5%. Parte de este carbono esta combinado y parte se encuentra en un estado libre como el grafito. **Se puede soldar el hierro fundido gris**, el hierro fundido maleable y el hierro fundido nodular. El hierro fundido esencialmente no tiene ductibilidad. Su fuerza de tracción puede ser tan baja como 20.000 psi (1.406kg/cm²) por eso es importante estar atentos a la formación de grietas originadas por la expansión y contracción durante el proceso de soldadura.

La soldadura con éxito del hierro fundido depende de las habilidades del operador. No se debe soldar el hierro fundido tan rápido como el hierro dulce, la soldadura terminada tiene ser enfriada lentamente.

La temperatura de calentamiento previo tiene que ser por lo menos de 600 °F (315°C) y preferiblemente alrededor de 900°F (482°C) a 1.200°F (650°C).

El calentamiento previo debe aplicarse lo más uniformemente posible y el enfriamiento debe ser controlado. Es importante al soldar hierro fundido mantener la profundidad de la fusión o penetración al mínimo para evitar la transformación del metal en una estructura no deseada. El hierro fundido se puede soldar, utilizando el método de oxiacetilénico o el método de arco metálico protegido.

¹⁰ MOLERA Sola, PERE, 12/2009.”Soldadura industrial: clase y aplicaciones”, Marcombo Editorial, Pág.9,Biblioteca_virtual_UTA,Website:<http://site.ebrary.com/lib/utasp/search.action?p00=temperatura+de+precalentamiento+en+soldadura&search=Buscar+en+ebrary>

El método de arco metálico protegido tiene altos niveles de deposición, pero es necesario el enfriamiento entre pasadas para prevenir la acumulación de calor.

Los dos tipos de electrodo que se pueden utilizar al soldar hierro fundido con el proceso de arco metálico protegido se pueden mecanizar o no.

Los que se pueden mecanizar depositan un metal de alto níquel y de metal soldable de níquel-hierro o una composición de níquel cobre. Los metales depositados son blandos y fácilmente mecanizables tiene un núcleo de acero dulce con un recubrimiento especial.

El depósito es muy duro y se utiliza solo cuando no es necesario labrarlo. Todos estos electrodos se utilizan al producir uniones herméticas. Son utilizadas primordialmente para reparar camisas de agua, bloques de motor, cajas de transmisiones y otros montajes similares.

Al utilizar una llama de oxiacetilénico para soldar hierro fundido, se debe utilizar una varilla especial de aportación de hierro fundido con un alto contenido de silicio, con este tipo de varilla quede suficiente silicio en área de soldada después de la soldadura.

Se puede utilizar soldadura fuerte para reparar piezas moldeadas, rotas, esto limita el tamaño de la zona frágil afectada por el calor que se está formando en el metal base. Después de este método de soldadura, sin embargo la pieza no puede estar expuesta a una temperatura de servicio más alta de 500°F (260°C).^[11]

2.4.4 HIERROS FUNDIDOS GRISES ^[12]

Para explicar el hierro fundido gris es necesario entender que el carburo de hierro es básicamente una fase metaestable y que con un enfriamiento anormalmente lento (o en presencia de ciertos aleantes como el silicio) se cristalizará el grafito (carbono puro) y el hierro. Además, si se calienta el carburo de hierro por un periodo prolongado se descompondrá de acuerdo a la reacción siguiente:

¹¹ RAMIREZ Maury, ENRIQUE Heriberto, 2009, "Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados", Universidad del Norte Editorial, Pág.: 641, Biblioteca virtual UTA Web site: books.google.com.ec/books?id=rHynAxxH0EO&lpq=PA641&dq=PRECALENTAMIENTO+DE+HIERRO+GRIS+EN+LA+SOLDADURA&source

Carburo de hierro → Hierro + C (grafito)



Figura 2.11 Hojuelas de grafito en el hierro fundido gris.

(Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González, Enero-Marzo 2001, "Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico", FIME-UANL, Pag: 8,)

Por lo tanto, el diagrama de equilibrio verdadero es el sistema hierro-grafito que se muestra con línea discontinua. No es necesario un nuevo diagrama, porque para todos los propósitos prácticos solamente hay que sustituir el grafito por el carburo de hierro en las regiones de dos fases, como se indica en la figura 1 y mover la línea vertical de la derecha hasta el 100 %. Los principales elementos de aleación son carbono y silicio. El alto contenido de carbono incrementa la cantidad de grafito o de Fe_3C e incrementando el contenido de carbono y silicio incrementa el potencial de grafitización y fluidez del hierro fundido, sin embargo su resistencia se ve afectada, ya que se promueve la formación de ferrita y el engrosamiento de la perlita.

La influencia combinada del carbono y el silicio normalmente se evalúa mediante la expresión siguiente:

$$CE = \%C + 0.3 (\%Si) + 0.33 (\%P) - 0.027 (\%Mn) + 0.4 (\%S) \quad Ec. 2.1$$

El contenido de manganeso varía en función de la matriz deseada, típicamente, puede ser tan baja como 0.1% para hierros ferríticos y tan alta como 1.2% para hierros perlíticos, ya que el manganeso es un fuerte promotor de la perlita. El efecto del azufre puede ser balanceado con el manganeso, sin manganeso en el hierro el indeseable compuesto sulfuro de hierro (FeS) se formará en el límite de grano. Si el azufre se balancea con manganeso, se formara sulfuro de manganeso (MnS), el cual es menos dañino ya que se distribuye dentro del grano. La relación óptima entre el manganeso y azufre para una estructura libre de sulfuro de azufre y máxima cantidad de ferrita es:

$$\%Mn = 1.7 \times (\%S) + 0.15 \quad Ec. 2.2$$

En la práctica es más difícil regular la cantidad de carbono que la de silicio, por eso, se elige un contenido tal de carbono que garantice relativamente buenas propiedades de colada, esto es, fluidez y poca contracción. La relación entre el contenido de carbono y silicio y la estructura de la fundición se presenta en forma gráfica en el diagrama estructural.

El campo del diagrama está dividido en cinco zonas estructurales, según sea el contenido de silicio (por la línea horizontal) y carbono (por la línea vertical).

El diagrama está construido para lingotes con un espesor de pared constante, que corresponde al bloque de prueba de 30 mm de diámetro; en él no se toma en consideración el efecto de la velocidad de enfriamiento sobre la estructura de la fundición. El enfriamiento retardado eleva el grado de formación de grafito.

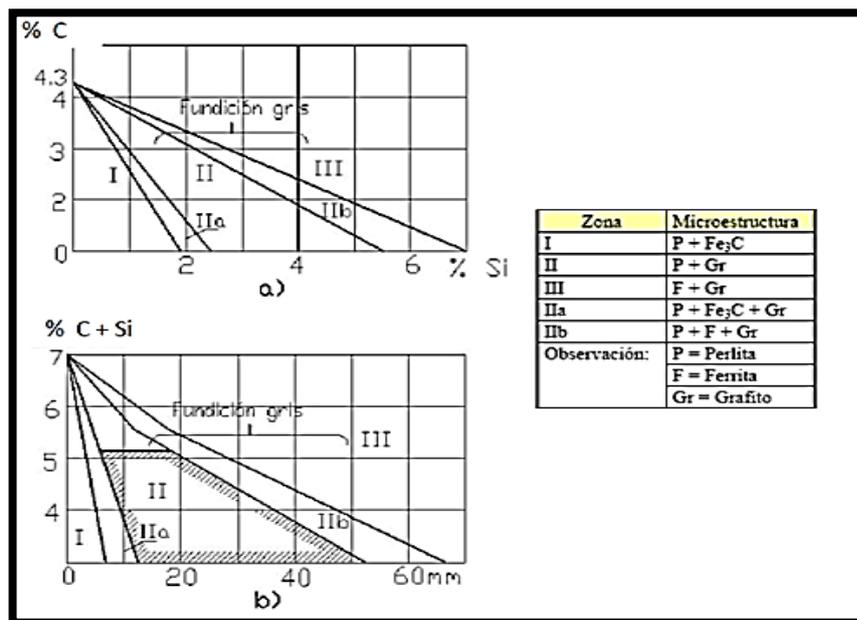


Figura 2.12 a) Influencia del contenido de C y Si **b)** efecto del espesor de la pieza moldeada (Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González, Enero-Marzo 2001, "Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico", FIME-UANL, Pág.: 8.)

El diagrama estructural de la figura 2.12 b) muestra la relación entre la estructura de la fundición y el contenido total de carbono y silicio (C+ Si) y el espesor de las paredes del lingote, es decir de la velocidad de enfriamiento.

En este diagrama el eje de las abscisas indica los espesores de las paredes de los lingotes y el de las ordenadas, la suma de carbono y silicio, pudiéndose observar que

el campo de este diagrama está dividido también en cinco zonas estructurales de igual manera que en el anterior.

La zona de las fundiciones perlíticas de alta calidad en el diagrama de la figura 2.12 b) está limitada por la horizontal del 5.3 % de la suma de C + Si , en el diagrama ésta zona esta sombreada . Se ha establecido que al disminuir el contenido de estos elementos por debajo del límite establecido, la resistencia de la fundición aumenta notablemente a costa de la reducción del grafito.

Ambos diagramas muestra la influencia del contenido en C y Si y la velocidad de enfriamiento sobre la estructura de las fundiciones de hierro. Una característica distintiva del hierro gris es que el carbono se encuentra en general en forma de grafito adoptando formas irregulares descritas como “hojuelas”, este grafito es el que da la típica coloración gris a las superficies de fractura en las piezas elaboradas con esta aleación.

Las propiedades físicas y en particular las mecánicas varían dentro de amplios intervalos respondiendo a factores como la composición química, rapidez de enfriamiento después del vaciado, tamaño y espesor de las piezas, práctica de vaciado, tratamiento térmico y parámetros microestructurales como la naturaleza de la matriz y la forma y tamaño de las hojuelas de grafito.

Las hojuelas adoptan diferentes patrones irregulares o tipos. El tipos y tamaño de hojuela se determina de manera tradicional por simple comparación contra el patrón ASTM (American Society for Testing and Materials), norma A247. Esto se realiza mediante observaciones de microscopia óptica a 100X sobre probetas pulidas a espejo, sin ataque químico. En general, se habla de 5 tipos de hojuelas, denominados A, B, C, D y E como se aprecia en la figura 2.13

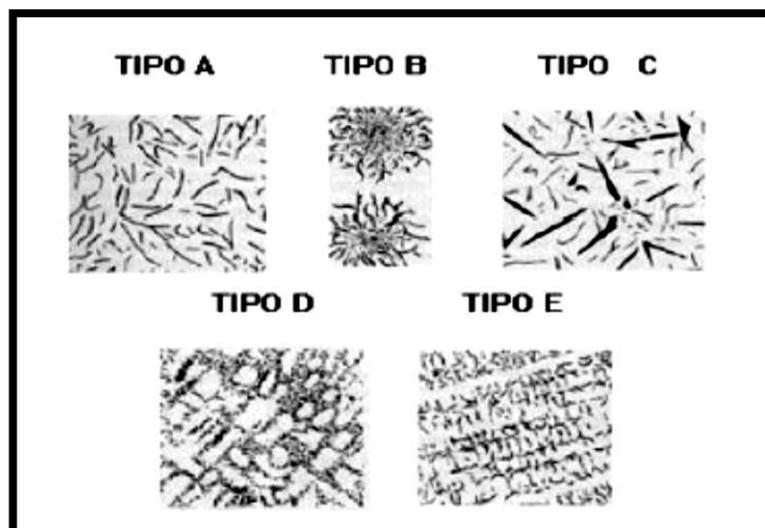


Figura 2.13 Tipos de hojuelas en los hierros grises, según clasificación de ASTM
Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González, Enero-Marzo 2001, "Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico", FIME-UANL, Pág.: 8,

Las normas hacen referencia a ocho tamaños de hojuelas, asignándoles números del 1 al 8 como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 2.5: Tamaños de hojuelas AFS*-ASTM**

TAMAÑO	LONG. -DIMENSIONES MÁXIMAS x 100, mm
1	128
2	64
3	32
4	16
5	8
6	4
7	2
8	1

(Fuente: ASTM, 1998, ASTM A247, Pág.: 2,)

En general para la mayoría de las aplicaciones se prefieren las hojuelas del tipo A de tamaño "pequeño", los tamaños grandes reducen la resistencia y ductilidad del hierro como resultado de interrumpir seriamente la continuidad del material.

Las propiedades mecánicas en general de las fundiciones grises son variables y están en función directa de la microestructura; por lo general poseen una resistencia a la compresión de dos a tres veces mayor que su resistencia a la tensión, siendo su

ductilidad bastante pequeña. Muchos de los grados de hierro gris tienen mayor resistencia al corte torsional que algunos tipos de acero. Estas características junto con una baja sensibilidad a la presencia de muescas (concentradores de esfuerzo) hacen del hierro gris un material adecuado para diversos tipos de flechas y ejes.

La capacidad de amortiguación del hierro gris es una propiedad que no se mide muy a menudo, pero que vale la pena considerar, ya que estas aleaciones tienen la habilidad de absorber la energía y por lo tanto de detener la vibración. Por ejemplo una barra de acero produce un sonido metálico, una barra de hierro fundido no lo produce. Esta característica explica las muchas armazones de máquinas que se hacen de hierro fundido gris. El hierro gris es fácil de maquinar, debido a la presencia de carbono libre (grafito), pero no es fácil de soldar.

La soldadura puede hacerse pero requiere de una técnica especial y generalmente queda confinada a reparaciones. El hierro fundido gris por lo general no se trata térmicamente como el acero, pero muchas de sus propiedades pueden variar con tratamientos térmicos.

El recocido puede liberar los esfuerzos, ablandar el hierro y hacerlo fácil de maquinar. El hierro gris se utiliza ampliamente para guarniciones y marcos alrededor de maquinaria peligrosa. Muchos tipos cajas para engranes, recintos para equipo eléctrico, carcasas para bombas y turbinas, engranes, mono bloques para motor y muchas otras piezas automotrices.

El sistema de identificación de ASTM para los hierros fundidos grises establece que el número que lo identifica corresponda a la resistencia a la tensión mínima en miles de libras/pulg², de tal manera que hierro gris ASTM No. 20 tiene una resistencia mínima a la tensión de 20000 lb/pulg².^[12]

12 SÁNCHEZ Fabiola *, HINOJOSA Moisés *, GONZÁLEZ Virgilio *, Enero-Marzo 2001”, Hojuelas de grafito en un hierro fundido gris: Análisis fractal y estadístico”, Ingenierías, Pág.: 641, BibliotecavirtualUTAWebsite:books.google.com.ec_books?ld=rHynAxzH0EO&lpq=PA641&dq=PRE CALENTAMIENTO+DE+HIERRO+GRIS+EN+LA+SOLDADURA&source

Tabla 2.6: Designación y propiedades de los hierros fundidos grises.

CLASE ASTM	RESISTENCIA MÁXIMA (ksi)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ksi)	RESISTENCIA AL CORTE (ksi)	MODULO DE ELASTICIDAD		LIMITE A LA FATIGA (ksi)	DUREZA BHN
				TENSIÓN (Msi)	TORSIÓN (Msi)		
20	22	83	26	9.6-14	3.9-5.6	10	156
25	26	97	32	11.5-14.8	4.6-6.0	11.5	174
30	31	109	40	13.0-16.4	5.6-6.6	14	201
35	36.5	124	48.5	14.5-17.2	5.8-6.9	16	212
40	42.5	140	57	16-20	6.4-7.8	18.5	235
50	52.5	164	73	18.8-22.8	7.2-8.0	21.5	262
60	62.5	187.5	88.5	20.4-23.5	7.8-8.5	24.5	302

Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González, Enero-Marzo 2001, "Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico", FIME-UANL, Pag: 8. ^[12]

2.4.4.1 PROPIEDADES DE LA FUNDICIÓN GRIS ^[13]

La fundición gris tiene una carga de rotura a la tracción pequeña, entorno a los 15 kg/mm² y llega a los 30, 40 y 45 kg/ mm² según sea su composición. Su resistencia a la compresión es mayor, y para las fundiciones grises normales resulta cerca de tres veces la de la tracción, por eso, sus aplicaciones principales se da en piezas sometidas a esfuerzos de compresión, más bien que a los de tracción. Puesto que en la flexión las fibras del elemento quedan tensas en la parte convexa, y comprimidas en la cóncava, la resistencia a la flexión varía según la orientación de la sección.

Es poco resiliente debido a que no es susceptible a sufrir deformaciones plásticas. Su dureza relativamente elevada, esta varía entre 130 a 300 Brinell según sea su composición. A pesar de su elevada dureza se puede mecanizar fácilmente, porque la viruta se desprende mejor y por la presencia de grafito liberado, que lubrica el paso de la viruta sobre el corte de la herramienta. No es dúctil ni maleable; se puede soldar al latón; en la soldadura oxiacetilénica y en la eléctrica de arco.

La fundición puede recibir baños galvánicos, ser niquelada, ser galvanizada en caliente, estañada y esmaltada al fuego (piezas de uso doméstico y para la industria química). La fundición tiene poca resistencia química, y se deteriora con los ácidos, los elementos alcalinos y las oxidaciones. ^[13]

Tabla 2.7: Clasificación de las fundiciones grises según la norma ASTM A48-41.

Clase	Resistencia a la Tracción – psi	Dureza Brinell	Estructura
20	24000	130 – 180	F, P
30	34000	170 – 210	F, P, G
40	44000	210 – 260	P, G
50	54000	240 – 280	P, G
60	64000	260 – 300	B, G

Fuente: Estudiantes de metalografía, 18 de mayo del 2011, “Diagrama hierro carbono”, Metalografía, Universidad Tecnológica de Pereira. ^[13]

2.4.4.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FUNDICIÓN GRIS ^[14]

La mayoría de las fundiciones grises son las aleaciones hipoeutécticas que contienen entre un 2,5 y 4% de carbono y que se caracterizan por el color grisáceo de su fractura. Son las más empleadas y al contrario que las fundiciones blancas, se ven favorecidas por la presencia de silicio el cual puede estar presente hasta en un 4%. Dependiendo del proceso de enfriamiento, las fundiciones grises pueden estar constituidas por grafito, cementita y perlita distribuidas de la siguiente forma:

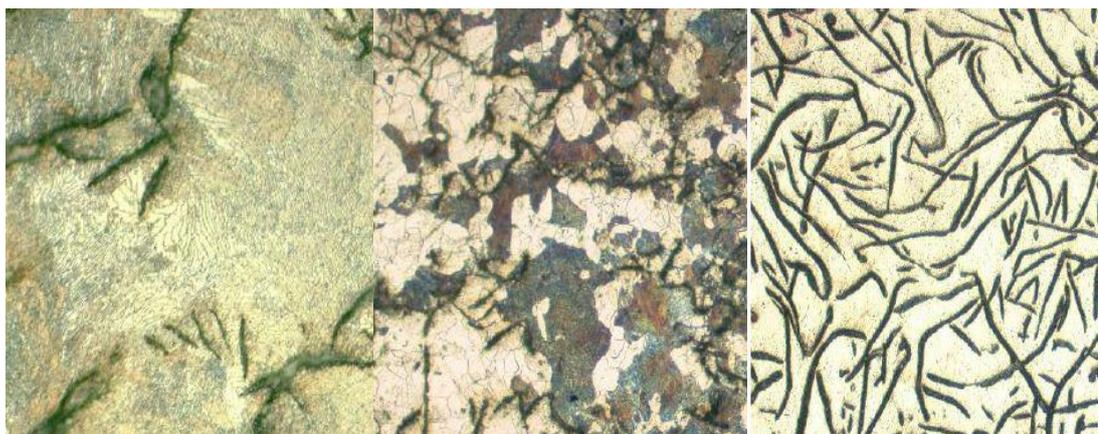
Fundición gris perlítica: son fundiciones que solidifican según el diagrama estable y cuya microestructura está formada por láminas de grafito eutéctico segregado sobre matriz perlítica.

Fundición gris ordinaria: solidifican según el diagrama estable y su microestructura está formada por láminas de grafito eutéctico segregado sobre matriz ferrítico - perlítica.

Fundición gris ferrítica: su microestructura está formada por láminas grandes de grafito primario y láminas más pequeñas de grafito eutéctico segregado sobre ferrita.

[14]

¹³ ESTUDIANTES DE METALOGRAFÍA, 18 de mayo del 2011, “Diagrama hierro carbono”, Metalografía, Web site: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2011/05/30/1-generalidades-de-los-materiales>



Fundición gris perlítica.

Fundición gris ordinaria

Fundición gris ferrítica.¹

FIGURA 2.14: Fundiciones Dependiendo del proceso de enfriamiento
(Fuente: Observatorio tecnológico de la soldadura, Fundición gris)^[14]

2.4.5 EFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN LAS FUNDICIONES.

El estudio de la influencia de los elementos de aleación en las fundiciones es bastante más complicado que en los aceros. Puede decirse que los elementos de aleación modifican la microestructura de las fundiciones y con ello su dureza y resistencia, estando en ocasiones estos cambios influenciados, además, por una variación de la templabilidad.

Los elementos de aleación modifican también, como en los aceros, la situación de los puntos críticos y además ejercen una acción muy importante y compleja sobre la grafitización.

En la tabla 2.8 se señala la influencia que los diversos elementos aleados ejercen sobre la formación del grafito y de los carburos, y sobre las características de la matriz.

En la tabla 2.8 se señala la influencia que tiene sobre los puntos críticos.

¹⁴ OBTESOL, 29 Noviembre 2012, Fundición Gris, Web site:
http://www.obtesol.es/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=108

Tabla 2.8: Influencia de los elementos de aleación en los constituyentes microscópicos de las fundiciones.

Elemento	Grafitización y coeficientes de grafitización	Efecto sobre los carburos a alta temperatura	Efecto en la estructura del grafito	Efecto en el carbono combinado de la perlita	Efecto que produce en la matriz
Carbono	Favorece	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Silicio	Favorece +1	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Aluminio	Favorece +0,5	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Titanio	Favorece +0,4	Decrece estabilidad	Afina fuertemente	Decrece	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Níquel	Favorece +0,35	Decrece ligeramente estabilidad	Afina ligeramente	Decrece y estabiliza la perlita	Afina la perlita y da dureza
Cobre	Favorece +0,20	Indiferente	Indiferente	Decrece ligeramente	Da dureza
Manganeso	Se opone -0,25	Estabiliza	Afina ligeramente	Aumenta	Afina la perlita y da dureza
Molibdeno	Se opone -0,30	Indiferente	Afina fuertemente	Aumenta ligeramente	Afina la perlita y da resistencia
Cromo	Se opone -1	Estabiliza fuertemente	Afina ligeramente	Aumenta	Afina la perlita y da dureza
Vanadio	Se opone -2,5	Estabiliza fuertemente	Afina	Aumenta	Afina la perlita y da dureza

Fuente: José Apraiz Barreiro, Fundiciones, 6ta Edición, 1998, p.72 .^[15]

En la segunda columna de la tabla 2.8, se brinda a manera de orientación unos coeficientes relativos del poder grafitizante de diversos elementos, que señalan el valor de su influencia comparada con la del silicio.

Ciertos elementos como el silicio, aluminio, níquel y cobre, que se disuelven en la ferrita, la endurecen y le hacen aumentar su resistencia. Son elementos que favorecen la grafitización. Otros elementos como el cromo, manganeso, y molibdeno son formadores de carburos, son elementos que tienden a formar fundición blanca en vez de gris y dificultan la grafitización.

También es interesante señalar la acción que estos elementos ejercen sobre la estabilidad del hierro gamma o de la austenita y sobre el hierro alfa o ferrita. El níquel, el manganeso y el cobre aumentan la estabilidad de la austenita y favorecen la formación de una matriz austenítica. El silicio, el aluminio y también el molibdeno

(éste en muy poca proporción) aumentan la estabilidad de la ferrita y favorecen la formación de fundiciones de matriz ferrítica.

A continuación se brinda una información adicional que completará a la proporcionada en la tabla 2.8:

Aluminio: El valor que se señala sirve hasta 2 % de aluminio. Al aumentar el aluminio de 2 a 4 %, la acción grafitizante decrece hasta cero.

Titanio: Con 0,1 a 0,2 %, el titanio tiene una acción grafitizante más intensa que el silicio, mientras que para mayores porcentajes su acción es inferior como se señala en el cuadro.

Cobre: La acción grafitizante baja hasta 0,05 cuando los contenidos en carbono son mayores de 3 %.

Manganeso: El coeficiente de -0,25, corresponde a porcentajes de 0,8 a 1,5 % de Mn. Por debajo de 0,8 % la acción del Mn es menos intensa. En cambio puede llegar a favorecer la formación de grafito por debajo de 0,6 % si se combina con el azufre.

Molibdeno: El coeficiente de 0,30 corresponde desde 0,8 a 1,5 % de Mo. Porcentajes de molibdeno inferiores a 0,8 %, tienen una acción más débil y contenidos más elevados tienen una acción más intensa.

Tabla 2.9: Influencia de los elementos de aleación en los constituyentes microscópicos de las fundiciones.

Modificación que se produce	Si	Mn	Ni	Cr	Al	Mo
Desplazamiento del punto eutéctico.	Hacia la izquierda	Hacia la derecha	Hacia la izquierda	Hacia la izquierda		
Desplazamiento de la temperatura eutectoide.	Hacia arriba	Hacia abajo	Hacia abajo	Hacia abajo	Hacia arriba	
Templabilidad		Aumenta		Aumenta	Reduce	Aumenta
Desplazamiento del punto eutectoide.	Hacia la izquierda					

Fuente: José Apraiz Barreiro, Fundiciones, 6ta Edición, 1998, p.72 .^[15]

Seguidamente se muestra la influencia individual de cada uno de los elementos de aleación:

Níquel: El níquel facilita la grafitización, se disuelve en el hierro y disminuye la estabilidad del carburo. Su acción es menos activa que la del silicio, ya que tres partes del níquel hacen el mismo efecto, aproximadamente, que una de silicio. Aumenta la dureza y resistencia de la matriz y reduce el tamaño de las láminas de grafito y el tamaño de grano.

Además, y esto es quizás lo más importante, evita la formación de fundición blanca en las esquinas y secciones delgadas de las piezas y mejora su maquinabilidad.

Para la fabricación de fundiciones de alta resistencia de 35 a 50 kg/mm², se suele emplear de 0,5 a 3 % de níquel. De 3,5 a 5 % de níquel, se emplea para obtener fundiciones martensíticas de elevada dureza, y más de 15 % de níquel para fabricar las fundiciones austeníticas muy resistentes a la corrosión y al calor.

Cromo: El cromo estabiliza la cementita y evita la grafitización. Reduce ligeramente el tamaño de las láminas de grafito y, afina y aumenta la dureza de la matriz. Las adiciones pequeñas (0,5 a 0,75 %) del cromo causan aumentos significativos en la resistencia del hierro gris. Se fabrican fundiciones con 12 a 30 % de cromo para resistir a la corrosión y a altas temperaturas. Forma carburos de cromo que son muy estables a alta temperatura.

Molibdeno: El molibdeno favorece muy ligeramente la estabilidad del carburo de hierro y reduce el tamaño de las láminas de grafito y también aumenta la resistencia de la matriz.

Se emplea en muchos tipos de fundiciones, pero su uso tiene un interés muy especial en las fundiciones aciculares, que tienen una tenacidad muy elevada.

Cobre: El cobre favorece ligeramente la grafitización y endurece y aumenta la resistencia de la matriz. Mejora la resistencia al desgaste y al choque de las fundiciones, proporcionándoles cualidades de antifricción muy interesantes.

También mejora la resistencia a la corrosión atmosférica y a la acción de agentes corrosivos relativamente débiles. Por su bajo precio es muy empleado para sustituir al níquel. Se suele utilizar para fabricar fundiciones perlíticas de alta resistencia a la tracción.

Vanadio: Ha sido recientemente sugerido como elemento de aleación menor para una fundición gris. Tal como se muestra en la figura 2.15 el vanadio tiene un efecto muy significativo en la dureza y en la resistencia a la tracción de la fundición gris. ^[15]

También se ha reportado que el incremento de resistencia a la tracción se mantiene inclusive después de un recocido; esto es, un avance significativo.

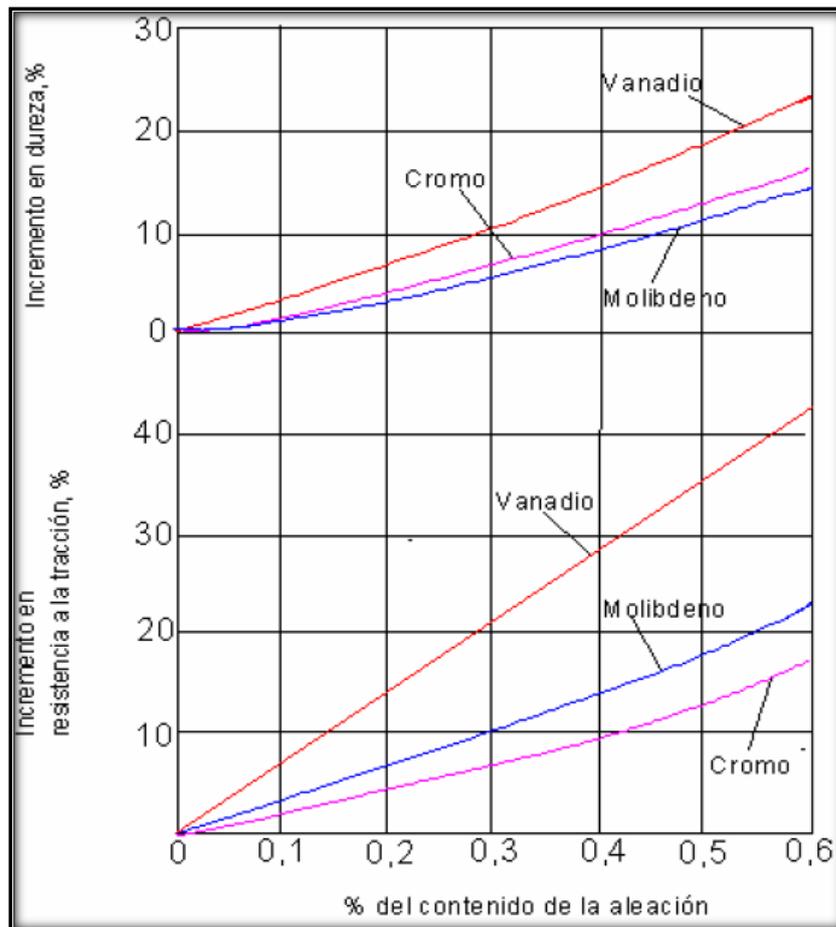


FIGURA 2.15: Efecto de los elementos de aleación en las propiedades de una fundición gris (Fuente: ASM Handbook, Casting, Gray Iron, 9na.Edición, volume 15, 1987, USA, p.639)^[16]

Influencia de elementos de aleación en las curvas T.T.T.

Las curvas T.T.T son gráficos Temperatura-Transformación-Tiempo que indican a qué temperatura y en qué instante se inicia y concluye una transformación según la velocidad de enfriamiento que se emplee.

¹⁵ José Apraiz Barreiro, Fundiciones, 6ta Edición, 1998, pag72 .

¹⁶ ASM Handbook, Casting, Gray Iron, 9na.Edición, volume 15, 1987, USA, pag 639

En principio, la forma de las curvas depende de la composición química, en este sentido podría decirse que es una característica de la fundición. En general todos los elementos de aleación retrasan las transformaciones (alejan las curvas del origen de tiempos) siendo los gammágenos los de mayor influencia. Los elementos carburígenos retrasan la formación perlítica.

Los diagramas T.T.T (Transformación-Temperatura-Tiempo) también son usados en la selección de tratamientos térmicos para fundiciones. La figura 2.16 muestra un típico diagrama T.T.T para fundiciones grises de bajo contenido de silicio.

Cada ruta de enfriamiento en esta figura define la relación tiempo/temperatura /enfriamiento, requerida para producir una microestructura.

La localización de la zona de transformación en el diagrama T.T.T, definido por el inicio y final de la curva, determina la velocidad y extensión del enfriamiento requerido para evitar ciertas transformaciones y promover otras. Para asegurar que un componente templado sea enteramente martensítico, la velocidad de enfriamiento más lenta debe ser suficientemente rápida para evitar la “nariz” de la zona de transformación (ver figura 2.16).

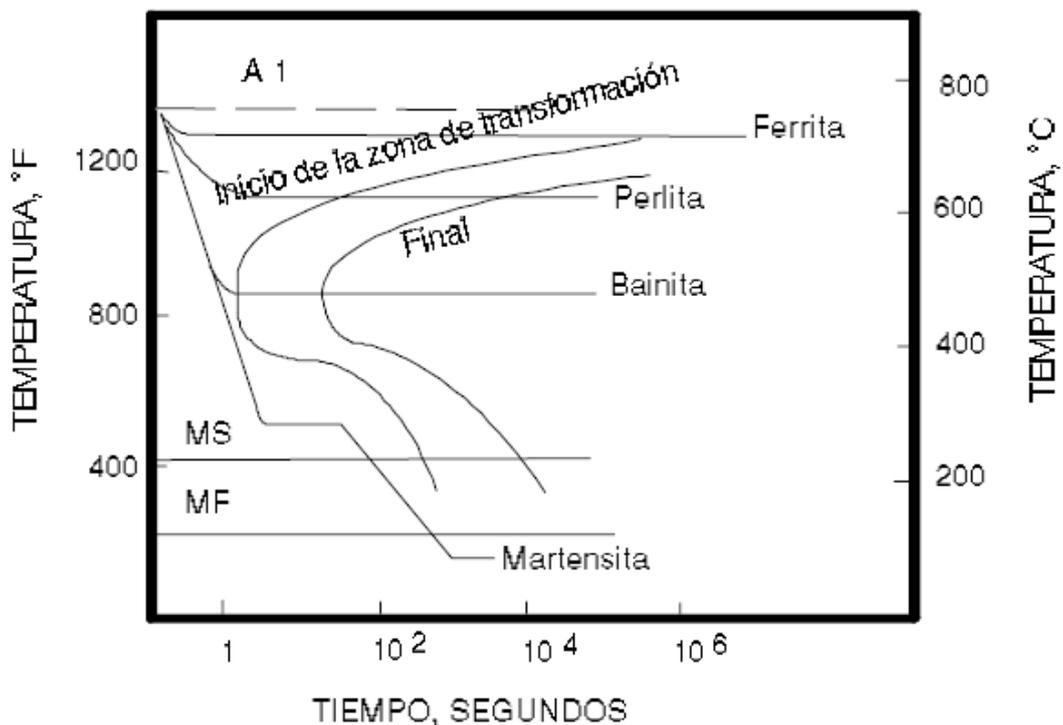


FIGURA 2.16: Típico diagrama T.T.T para una fundición gris de bajo silicio (Fuente: Reto Fabián, “Tratamientos térmicos para la optimización microestructural en una fundición férrea de baja aleación”, Piura, 1998, p.24.)^[17]

El conocimiento de varios diagramas T.T.T publicados por la *Ductil Iron* permite a las fundiciones y al tratador térmico seleccionar apropiadamente los contenidos de aleación y las condiciones de enfriamiento para producir adecuadamente fundiciones endurecidas.^[17]

2.4.6 INGENIERÍA DE SOLDADURA ^[14]

La ingeniería de soldadura pretende brindar la formación científico-tecnológica necesaria y fortalecer la capacidad de los profesionales especializados para desarrollar proyectos vinculados a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico en el campo de la soldadura poniendo especial énfasis en su aplicación industrial.

En los procesos de diseño y construcción, el ingeniero mecánico recurre con frecuencia a uniones por soldadura, por lo cual dentro de su formación, es conveniente, no solo el aprendizaje de los cálculos requeridos en su diseño, sino que también conozca los procesos de soldadura y la evaluación e inspección de las mismas.

2.4.6.1 Propiedades mecánicas de los materiales

Muchos materiales cuando están en servicio están sujetos a fuerzas o cargas. En tales condiciones es necesario conocer las características del material para diseñar el instrumento donde va a usarse de tal forma que los esfuerzos a los que vaya a estar sometido no sean excesivos y el material no se fracture.

El comportamiento mecánico de un material es el reflejo de la relación entre su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada.

Hay tres formas principales en las cuales podemos aplicar cargas: Tensión, Compresión y Cizalladura. Además en ingeniería muchas cargas son torsionales en lugar de sólo cizalla.

¹⁴OBTESOL, 29 Noviembre 2012, Fundación Gris, Web site: http://www.obtesol.es/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=108

¹⁷ Reto Fabián, “Tratamientos térmicos para la optimización microestructural en una fundición férrea de baja aleación”, Piura, 1998, p.24

- **Tensión.** Consideremos una varilla cilíndrica de longitud l_0 y una sección transversal de área A_0 sometida a una fuerza de tensión uniaxial F , como se muestra en la figura.

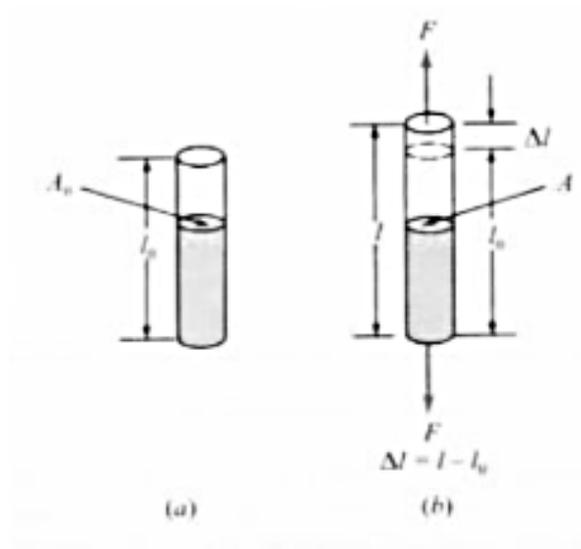


Figura 2.17. a) Barra antes de aplicarle la fuerza b) Barra sometida a una fuerza de tensión uniaxial F que alarga la barra de longitud l_0 a l .
(Fuente: Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología.)

Por definición, la tensión σ en la barra es igual al cociente entre la fuerza de tensión uniaxial media F y la sección transversal original A_0 de la barra.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Ec. 2.3

- **Deformación o alargamiento:** Cuando se aplica a una barra una fuerza de tensión uniaxial, tal como se muestra en la figura 2.8, se produce una elongación de la varilla en la dirección de la fuerza. Tal desplazamiento se llama deformación. Por definición, la deformación originada por la acción de una fuerza de tensión uniaxial sobre una muestra metálica, es el cociente entre el cambio de longitud de la muestra en la dirección de la fuerza y la longitud original.

$$\xi = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} = \left[\frac{m}{m} \right]$$

Ec.2.4

Dónde:

- ✓ l = es la longitud después de la acción de la fuerza
- ✓ l_0 = es la longitud inicial de la pieza

Normalmente la deformación se determina mediante el uso de una pequeña longitud, normalmente de 2 pulgadas, que se denomina longitud de calibración, dentro de una muestra más larga, por ejemplo de 8 pulgadas. Como puede deducirse de la fórmula, la deformación es una magnitud a dimensional. En la práctica, es común convertir la deformación en un porcentaje de deformación o porcentaje de elongación.

$$\% \text{ deformación} = \text{deformación} \times 100\% = \% \text{ elongación} \quad \text{Ec. 2.5}$$

- **Deformación elástica y plástica** Cuando una pieza se somete a una fuerza de tensión uniaxial, se produce una deformación del material. Si el material vuelve a sus dimensiones originales cuando la fuerza cesa se dice que el material ha sufrido una deformación elástica.

El número de deformaciones elásticas en un material es limitado ya que aquí los átomos del material son desplazados de su posición original, pero no hasta el extremo de que tomen nuevas posiciones fijas.

Así cuando la fuerza cesa, los átomos vuelven a sus posiciones originales y el material adquiere su forma original. Si el material es deformado hasta el punto que los átomos no pueden recuperar sus posiciones originales, se dice que ha experimentado una deformación plástica.

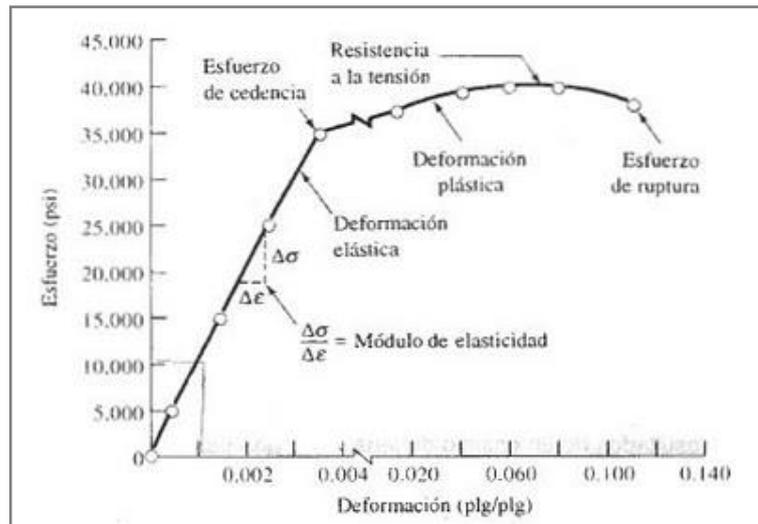


Figura 2.18. Curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación de aluminio (FUENTE: Mangonon, parte I. (2001), ciencia de materiales selección y diseño, primera edición, pearson México. pág. 142)^[18]

Las propiedades mecánicas que son de importancia en ingeniería y que pueden deducirse del ensayo tensión – deformación son las siguientes.^[19]

1. Módulo de elasticidad
2. Límite elástico a 0.2%
3. Resistencia máxima a la tensión
4. Porcentaje de elongación a la fractura
5. Porcentaje de reducción en el área de fractura

1. Módulo de elasticidad

En la primera parte del ensayo de tensión, el material se deforma elásticamente, o sea que si se elimina la carga sobre la muestra, volverá a su longitud inicial. Para metales, la máxima deformación elástica es usualmente menor a un 0.5%. En general, los metales y aleaciones muestran una relación lineal entre la tensión y la deformación en la región elástica en un diagrama tensión – deformación que se describe mediante la ley de Hooke:

$$\sigma = E \xi \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$E = \frac{\sigma}{\xi} \quad \text{Ec. 2.7}$$

¹⁸ Mangonon, parte I. (2001), ciencia de materiales selección y diseño, primera edición, pearson México. pág. 142

ξ = es el esfuerzo o tensión
 σ = es la deformación

El módulo de Young tiene una íntima relación con la fuerza de enlace entre los átomos en un material. Los materiales con un módulo elástico alto son relativamente rígidos y no se deforman fácilmente.

Nótese que en la región elástica del diagrama tensión – deformación el módulo de elasticidad no cambia al aumentar la tensión.

2. Límite elástico

Es la tensión a la cual un material muestra deformación plástica significativa. Debido a que no hay un punto definido en la curva de tensión – deformación donde acabe la deformación elástica y se presente la deformación plástica se elige el límite elástico cuando tiene lugar un 0.2% de deformación plástica.

El límite elástico al 0.2% también se denomina esfuerzo de fluencia convencional a 0.2%.

Para determinarlo se procede así:

Inicialmente se dibuja una línea paralela a la parte elástica (lineal) de la gráfica tensión – deformación a una deformación de 0.002 (m/m ó pulg/pulg).

En el punto donde la línea intercepta con la parte superior de la curva tensión – deformación, se dibuja una línea horizontal hasta el eje de tensión.

El esfuerzo de fluencia convencional a un 0.2% es la tensión a la que la línea horizontal intercepta con el eje de tensión. Debe aclararse que el 0.2% se elige arbitrariamente y podría haberse elegido otra cantidad pequeña de deformación permanente.

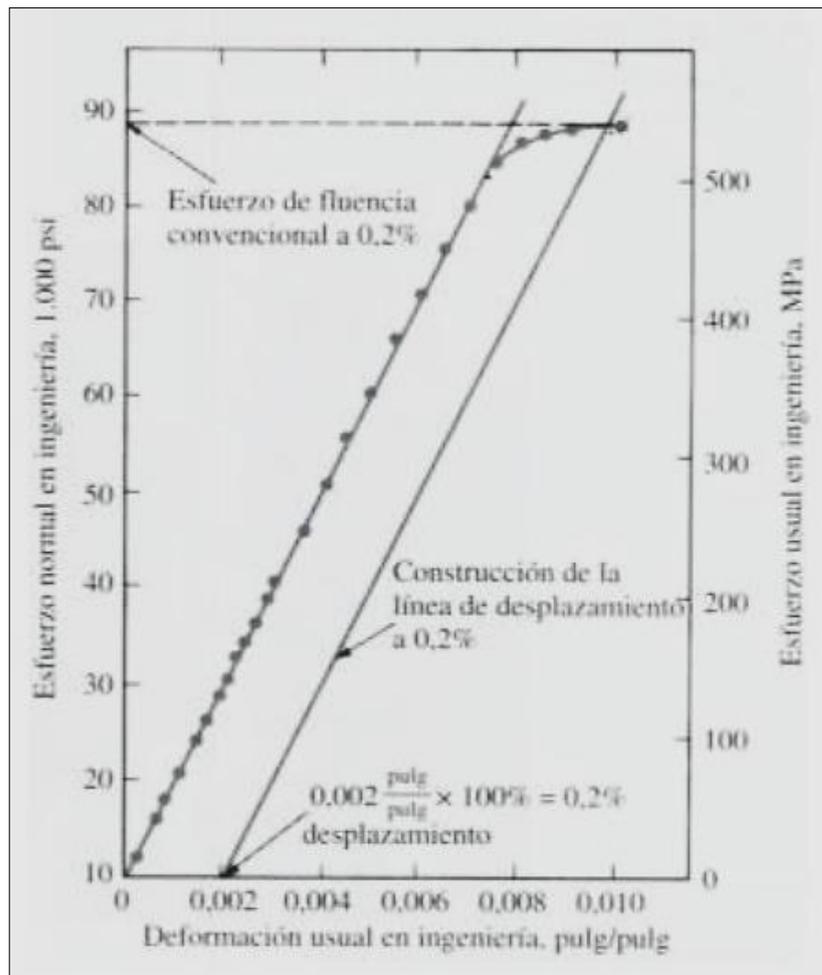


Figura 2.19 Obtención del límite elástico al 0.2%
(Fuente: Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología)

3. Resistencia máxima a la tensión

La resistencia máxima a la tensión es la tensión máxima alcanzada en la curva de tensión – deformación. Si la muestra desarrolla un decrecimiento localizado en su sección (un estrangulamiento de su sección antes de la rotura), la tensión decrecerá al aumentar la deformación hasta que ocurra la fractura puesto que la tensión se determina usando la sección inicial de la muestra. Mientras más dúctil sea el metal, mayor será el decrecimiento en la tensión en la curva tensión - deformación después de la tensión máxima.

La resistencia máxima a la tensión de un material se determina dibujando una línea horizontal desde el punto máximo de la curva tensión – deformación hasta el eje de las tensiones (punto TS en la figura 2.19).

La tensión a la que la línea intercepta al eje de tensión se denomina resistencia máxima a la tensión, o a veces simplemente resistencia a la tensión o tensión de fractura.

4. Porcentaje de elongación (estiramiento)

La cantidad de elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de la ductilidad de un material. La ductilidad de los materiales comúnmente se expresa como porcentaje de la elongación, comenzando con una longitud de calibración usualmente de 2 pulg (5,1 cm). En general, a mayor ductilidad (más deformable es el metal), mayor será el porcentaje de la elongación.

El porcentaje de elongación de una muestra después de la fractura puede medirse juntando la muestra fracturada y midiendo longitud final con un calibrador. El porcentaje de elongación puede calcularse mediante la ecuación.

$$\% \text{ elongacion} = \frac{l-l_0}{l_0} * 100\% \quad \text{Ec.2.8}$$

Este valor es importante en ingeniería no solo porque es una medida de la ductilidad del material, sino también porque da una idea acerca de la calidad del mismo. En caso de que haya porosidad o inclusiones en el material o si ha ocurrido algún daño por un sobrecalentamiento del mismo, el porcentaje de elongación de la muestra puede decrecer por debajo de lo normal.

5. Porcentaje de reducción en área

Este parámetro también da una idea acerca de la ductilidad del material. Esta cantidad se obtiene del ensayo de tensión utilizando una muestra de 0.5 pulgadas (12.7mm) de diámetro. Después de la prueba, se mide el diámetro de la sección al fracturar. Utilizando la medida de los diámetros inicial y final, puede determinarse el porcentaje de reducción en el área a partir de la ecuación

$$\% \text{ Reduccion de área} = \frac{A-A_0}{A_0} * 100\% \quad \text{Ec. 2.9}$$

¹⁹ Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología

2.4.7 ENSAYO DE MATERIALES

2.4.7.1 Ensayo de tensión^[20]

▪ Muestras

El procedimiento experimental adoptado en este trabajo como referencia para la caracterización del comportamiento mecánico de un material consiste en lo siguientes:

Tipo de espécimen de ensayo debe ser especificado por el código aplicable, las especificaciones, o el documento de fabricación.

Se recomienda que las muestras de ensayo que proporcionan el mayor área de sección transversal a prueba dentro de las capacidades de equipos de prueba disponibles

Prueba de tensión de la pieza rectangular. La tensión muestras para juntas soldadas a tope que no sean la tubería o tubería será bien la tensión de soldadura transversales especímenes o muestras de soldadura longitudinal de tensión.

Cuando el grosor de la soldadura de prueba es más allá de la capacidad del equipo de prueba disponible, la soldadura se divide a través de su espesor en hasta especímenes como necesarios para cubrir el espesor de la soldadura completa y todavía mantener el tamaño de la muestra dentro del equipo de prueba de capacidad. A menos que se especifique lo contrario, los resultados de las muestras de espesor parcial se calcularán la media de determinar las propiedades de la articulación de grosor completo. Sólo resistencia a la tracción se determina normalmente en especímenes tomado transversal a la línea central de la soldadura.^[11]

El procedimiento de ensayo para las muestras de soldadura deberá ajustarse a lo especificado en la norma ASTM E 8/ASTM E 8M, *Métodos Standard para las pruebas de tensión de los materiales metálicos*

- **Las pruebas de tensión rectangulares.-** El cálculo de la resistencia a la tracción para rectangular pruebas es la siguiente:

La resistencia última a la tracción está dada por:

$$\frac{\text{Carga máxima}}{\text{Área Original}} = \frac{P_{(máxima)}}{W \times T} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Dónde:

$P_{(máxima)}$ = carga máxima,

W = anchura original,

T = espesor original.

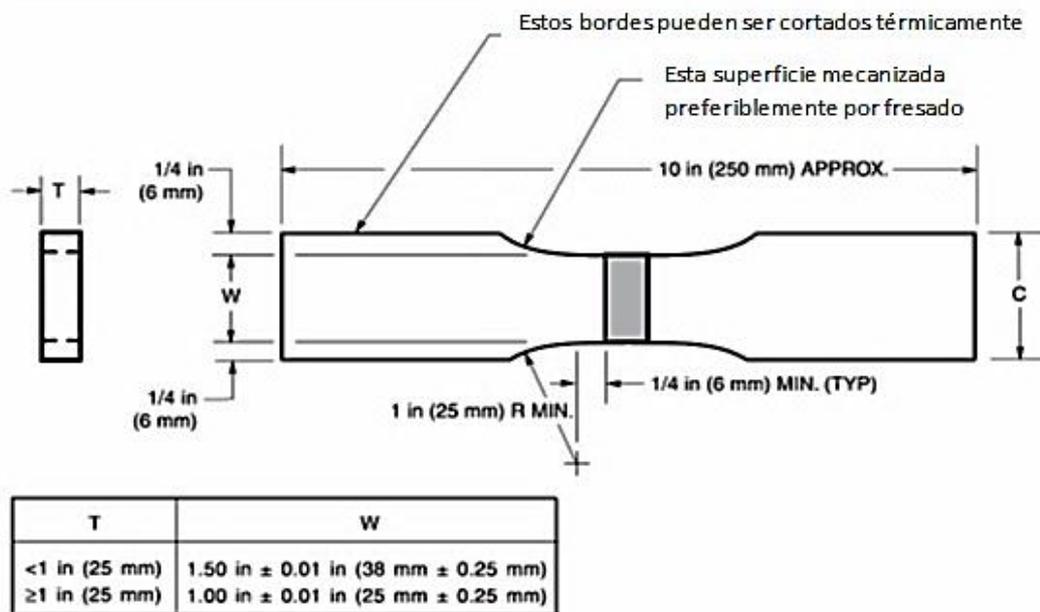


Figura 2.20 Tensión transversal rectangular de la pieza de prueba (Platina).

FUENTE: AWS B4.0, 2007, Standard Methods for Mechanical Testing of Welds, Pag. 6. ^[17]

2.4.7.2 ENSAYO DE DUREZA ^[15]

Dureza. Es una medida de la resistencia de un material a la deformación permanente (plástica) en su superficie, o sea la resistencia que opone un material a ser rayado o penetrado. La dureza de una material se mide de varias formas dentro de las cuales se pueden destacar las durezas “mecánicas” y la dureza de Mohs. En las durezas mecánicas se utiliza un penetrador sobre la superficie del material. Sobre este penetrador se ejerce una carga conocida presionando el penetrador a 90° de la superficie del material de ensayo. El penetrador tiene diferentes formas y de acuerdo a esta es la huella que queda impresa en el material. De acuerdo a la geometría de la huella y a la carga. Se utilizan diferentes fórmulas para determinar el valor de la dureza. Actualmente hay aparatos que leen la dureza de una forma digital.

²⁰ AWS B4.0, 2007, Standard Methods for Mechanical Testing of Welds

Es así como puede establecerse la dureza Brinell, Vickers, Knoop, y Rockwell ^[21]

El ensayo de dureza mide la resistencia de la superficie de un material a la penetración por un objeto duro. Se han inventado una diversidad de pruebas de dureza, pero las de uso más común son los ensayos Rockwell y Brinell (Figura 6) En el ensayo de dureza Brinell, una esfera de acero duro (por lo general de 10mm de diámetro), se oprime sobre la superficie del material. Se mide el diámetro de la impresión generada, comúnmente de 2 a 6 mm, y se calcula el número de dureza o índice de dureza Brinell (abreviado como HB o BHN) a partir de la ecuación siguiente:

$$HB = \frac{F}{\left(\frac{\pi}{2}\right)D(D - \sqrt{D^2 - D_i^2})} \quad \text{Ec.2.11}$$

Dónde:

F = carga aplicada en kilogramos.

D = diámetro del penetrador en mm.

D_i = diámetro de la impresión en mm.

El ensayo de dureza Rockwell utiliza una pequeña bola de acero para materiales blandos y en cono de diamante para materiales más duros. La profundidad de la penetración es medida automáticamente por el instrumento y se convierte a índice de dureza Rockwell (HR). Se utilizan diversas variantes del ensayo Rockwell, incluyendo las descritas en la tabla 2.4. La escala Rockwell C (HRC) se utiliza para aceros duros.

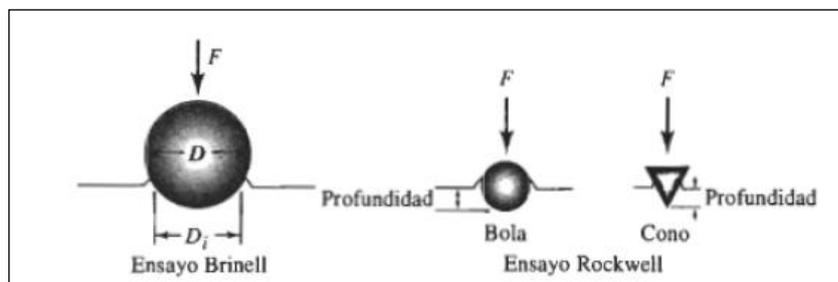


Figura 2.21 Ensayo de dureza Brinell y Rockwell.

FUENTE: ASKELAND, Donald R.(1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México, Pág. 142

²¹MALISHEV. SHUVALOV, Tecnología de los Materiales

TABLA 2.10 Comparación de ensayos de dureza Típicos.

Ensayo	Penetrador	Carga	Aplicación
Brinell	Bola de 10 mm	3000 kg	Hierro y acero fundidos
Brinell	Bola de 10 mm	500 kg	Aleaciones no ferrosas
Rockwell A	Cono de diamante	60 kg	Materiales muy duros
Rockwell B	Bola de 1/16 plg	100 kg	Latón, acero de baja resistencia
Rockwell C	Cono de diamante	150 kg	Acero de alta resistencia
Rockwell D	Cono de diamante	100 kg	Acero de alta resistencia
Rockwell E	Bola de 1/8 plg	100 kg	Materiales muy suaves
Rockwell F	Bola de 1/16 plg	60 kg	Aluminio, materiales suaves
Vickers	Pirámide de diamante	10 kg	Materiales duros
Knoop	Pirámide de diamante	500 g	Todos los materiales

FUENTE: ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 143)

Los ensayos Vickers (HV) y Knoop (HK) son pruebas de microdureza; producen penetraciones tan pequeñas que se requiere de un microscopio para obtener su medición. Los índices de dureza se utilizan principalmente como base de comparación de materiales; de sus especificaciones para la manufactura y tratamiento térmico, para el control de calidad y para efectuar correlaciones con otras propiedades de los mismos.

La dureza se relaciona con la resistencia al desgaste. Los dientes de los engranes en la transmisión o en el sistema impulsor de un vehículo deberá ser lo suficientemente duros para que no se desgasten. Generalmente se encuentra que los materiales poliméricos son excepcionalmente blandos, los metales son de dureza intermedia y los cerámicos son excepcionalmente duros.

2.4.7.3 ENSAYO DE METALOGRAFÍA

La metalografía estudia la estructura de los metales y sus aleaciones estas tienen un enorme campo de aplicación en las construcciones mecánicas y metálicas.

Los ensayos micrográficos se realizan sobre muestras o probetas de los materiales que han de ser sometidos a estudio, preparamos una superficie que luego de ser pulida convenientemente, se ataca con reactivos químicos apropiados a la finalidad de la determinación a realizar.^[22]

Se debe tener en cuenta, los tratamientos recibidos por la pieza en su fabricación, como forjado, laminado, recocido, temple, etc. pues en muchos casos (forjado y laminado) es beneficio contar con muestras en las distintas direcciones de sus fibras.

Como se ha indicado, el estudio si se hace sobre superficies convenientemente preparadas de dichas muestras o probetas. Esta preparación consistente en llegar a un pulido casi perfecto, para lo cual se parte de un desbaste que podríamos llamar grueso, con el fin de aplanar la superficie, lo que se consigue con un ajuste a lima o con el auxilio de devastadoras mecánicas de diseño especial.

Los reactivos químicos y sus finalidades son muy variadas, pero en principio se busca con ellos la revelación, por coloración o por corrosión, de los distintos componentes de una estructura metalográfica para poder diferenciarlos con facilidad. Por lo general, están constituidos por ácidos, álcalis, etc. diluidos en alcoholes, agua, glicerina, etc. Y su elección se hará de acuerdo con la naturaleza química la estructura a destacar en la muestra.

Con tal fin, una vez pulida la superficie se hará en agua caliente, frotándola con un algodón o tela suave para quitarle todo rastro de las operaciones anteriores o grasa que pueda presentar, concluyendo esta limpieza con alcohol etílico o solvente similar y secándola con un soplado de aire caliente. Las fotografías obtenidas de estos exámenes, genéricamente llamados “Microfotografías “, se logran con la ayuda del microscopio metalográfico, cuyos principios ópticos y de observación no difieren mayormente de los comunes. Con iluminación adecuada, se observa por reflexión (los rayos luminosos al incidir sobre el objeto se refleja hacia el ocular), la imagen de la superficie atacada, a través de un sistema de lentes con los que se amplifica según lo que requiera la observación

Por otra parte, con la observación de las estructuras micrográficas y por comparación con microfotografías, es posible deducir el contenido aparente de carbono, finura y variedad de los componentes, clasificación de aceros, reconocer las inclusiones por defectos de fabricación.

Se sabe que existe cierta relación entre la tenacidad de los aceros y el tamaño de grano. Siempre se han preferido los aceros de grano fino, porque las herramientas y piezas fabricadas con esos aceros, tiene mayor tenacidad que los fabricados con acero de grano grueso.

²² ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thompson. México. (pág. 130)

En metalografía a menudo es necesario establecer cuantitativamente valores diferentes tales como:

1. El número de partículas o poros por unidad de volumen (las partículas se usan aquí en el sentido de partículas sueltas o unidades separadas de un constituyente en la matriz; granos y tamaños de grano se refieren a los cristales de la matriz y su tamaño).
2. El tamaño de las figuras presentes en la probeta.
3. El tamaño del grano del material.
4. La fracción de volumen de las fases presentes en una probeta.

Generalmente, los cálculos de la fracción de volumen a partir de las mediciones cuantitativas sobre una superficie de un material opaco solamente puede, proporcionar valores aproximados. No obstante, este método es empleado casi sin excepción^[19]

²³ <http://tq.educ.ar/grp0128/Ensayos/Metalog.htm>

2.5 HIPÓTESIS

La selección adecuada de la temperatura de precalentamiento en el procedimiento de soldadura SMAW en el hierro gris permitirá mejorar las propiedades mecánicas de la junta soldada.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.6.1 Variable Independiente

La selección adecuada de la temperatura de precalentamiento en el procedimiento de soldadura SMAW en el hierro gris.

2.6.2 Variable Dependiente

Propiedades mecánicas de la junta soldada.

2.6.3 Término de relación

Permitirá mejorar

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un diseño basado en las modalidades básicas de investigación siguientes:

- ✓ **Aplicada.-** Los resultados obtenidos de ésta investigación se utilizaron para la solución de la problemática de la investigación, es decir el estudio que se realice con las temperaturas de precalentamiento en un proceso de soldadura SMAW de hierro gris y su incidencia en las propiedades mecánicas de la junta soldada.
- ✓ **De laboratorio.-** La presente investigación será desarrolló en un ambiente controlado en este caso laboratorios: De Materiales, Laboratorios de ensayo de materiales, Laboratorio de soldadura de la Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ **Bibliográfica.-** La investigación se la realizo en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato; además de libros, revistas, páginas WEB, las cuales proporcionaron apoyo tecnológico y científico.
- ✓ **Descriptiva.-** Fue descriptiva, ya que mediante esta modalidad conseguimos describir, analizar paso a paso todo lo realizado en el estudio como: los avances, problemas que han surgido y sus posibles soluciones, así como también reflejara el nuevo conocimiento adquirido.
- ✓ **Experimental:** Durante la investigación se realizó los diferentes experimentos para determinación, influencia, comprobación o verificación de la temperatura de precalentamiento, logrando obtener y recolectar datos que permitan proponer criterios para brindar soluciones a la problemática.

3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.

- ✓ **Explorativa:** Se investigará todo y cada uno de los detalles del proyecto, tanto su diseño como su funcionamiento, para esto se indagará en cada uno de los parámetros de análisis generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.
- ✓ **Descriptivo:** Esta investigación se la realiza describiendo el problema en una circunstancia espacial determinada, además esta investigación será la más adecuada para la problemática de la investigación, por su origen y su desarrollo.
- ✓ **Correlacional:** En este tipo de investigación va a tener como finalidad determinar el grado de relación o sociedad no causal, existente entre dos o más variables evaluando la hipótesis, sujeta a comprobación.
- ✓ **Explicativa:** La investigación intenta informar de un aspecto de la realidad, explicando su significatividad dentro de una teoría de referencia encargada de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población o universo

En la presente investigación se determina como población a las probetas soldadas de hierro fundido gris que serán objeto de estudio.

3.3.2. Muestra

En la presente investigación se ha de considerar para la muestra las probetas soldadas de hierro fundido gris a diferentes temperaturas de precalentamiento: (100, 200, 300, 400, 500, 600) °C y a temperatura ambiente (sin precalentamiento).

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Variable Independiente: Temperatura de precalentamiento en el procedimiento de soldadura SMAW en el hierro gris.

TABLA 3.1 Operacionalización de la variable Independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La temperatura de precalentamiento es un factor importante dentro del procedimiento de soldadura SMAW en el hierro gris, tiene influencia en las propiedades mecánicas la junta soldada, el precalentamiento consiste básicamente en calentar el Material Base antes de la soldadura manteniendo la Temperatura del mismo entre un valor mínimo o uno máximo	Temperatura de precalentamiento del material a soldar	¿Cuál es la temperatura de precalentamiento del material a soldar?	100 – 600 °C (Intervalos de 100°)	Termómetro por infrarrojos de precisión Tiza de color térmicas Display de horno
	Precalentamiento de hierro gris	¿Cuál es el tiempo de precalentamiento del material a soldar?	5min – 30 min 30 min – 3 hora	Cronometro
	Procedimiento de soldadura SMAW para el hierro gris	¿Cuál es el medio de precalentamiento de fundición gris?	Horno	Observación directa
		¿Cuál es el procedimiento de soldadura SMAW para el hierro gris?	Frio Caliente	Observación directa

(Elaborado por: Oscar Tene)

3.4.2. Variable Dependiente: Propiedades mecánicas de la junta soldada.

TABLA 3.2 Operacionalización de la Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Propiedades Mecánicas de la junta soldada son de importancia en la ingeniería mecánica ya que bajo estos parámetros estas son sujetos de ensayos y calificación, para condiciones de servicio requeridas, a fin de determinarlas características más importantes que la junta soldada debe poseer.	Estructura metalográfica	Tipo de fundición. Forma de grafito. Tamaño de grafito. Distribución de grafito. Matriz.	¿Cuáles son las propiedades metalográficas óptimas del grafito según la norma ASTM A 247-98?	Observación directa Software Microscopio Durómetro
	Dureza	Optima Baja	¿Qué propiedades de dureza son las óptimas en las juntas soldadas con precalentamiento?	Maquina Universal Maquina Charpy Reactivos químicos Observación directa Formatos o fichas para toma de datos
	Tracción	Resistencia a la tracción Deformación ingenieril. Reducción de área.	¿Cuáles son las propiedades mecánicas de tensión óptimas según las normas ASTM A48-03?	Observación directa Formatos o fichas para toma de datos
	Impacto	Energía de impacto Resistencia de impacto Tipo de fractura	¿Qué propiedades de impacto son las óptimas en las probetas soldadas con precalentamiento?	Bibliográfica Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos

(Elaborado por: Oscar Tene)

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información existente sobre la temperatura de precalentamiento en un proceso de soldadura de hierro gris así como sus causas y consecuencias que puedan influir en esta investigación son sumamente escasas, por tal motivo; la presente investigación utilizó técnicas de recolección de la información tales como:

1. La observación directa, pues se requiere observar y analizar la información que sirvió como guía en la investigación, recolección de información de: libros, documentales que se encuentren publicados en la web, revistas, periódicos y de toda la información que se pueda recabar en el tiempo que dure la investigación, así como también la observación directa será utilizada en el análisis y pruebas en el laboratorio, inspección visual externa e interna, lógicamente con el empleo de diversos medios e instrumentos de medición, como la utilización del software en el análisis metalográfico, los cuales permitan recoger la información de forma correcta y eficiente que sirva de apoyo para la determinación de la temperatura de precalentamiento adecuada.

3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El plan de procesamiento de la información se lo realizó en el siguiente orden:

- Recolección de la información necesaria partiendo del apoyo bibliográfico en cuanto a lo relacionado con la temperatura de precalentamiento y el procedimiento de soldadura de hierro gris.
- Revisión crítica de la información bibliográfica recogida.
- Elección de la información más importante y puntual relacionada con la investigación.
- Diseño del procedimiento de soldadura SMAW en el hierro gris en base a la información recolectada.
- Precalentamiento de las probetas de hierro fundido gris a diferentes temperaturas de precalentamiento partiendo del apoyo bibliográfico.
- Aplicación de la información seleccionada en el procedimiento soldadura

- Ensayo de pruebas de laboratorio, para conocer las propiedades mecánicas de la junta soldada como: dureza, estructura metalográfica, impacto y tracción.
- Tabulación de la información, datos de los ensayos mecánicos tracción dureza y impacto, de acuerdo a los parámetros y a la relación que tengan con las variables de la hipótesis, considerados de importancia dentro de esta investigación.
- Análisis y evaluación de resultados del ensayo metalográfico.
- Análisis e interpretación de resultados.

3.6.1 Plan de análisis e interpretación de resultados:

Para el análisis e interpretación de los resultados de esta investigación se recolectó los datos que se obtuvo como: del diseño de la soldadura, selección de materiales para realizar la soldadura, ensayos de utilizando diferentes temperatura de precalentamiento, ensayos para conocer las propiedades mecánicas de las probetas (Estructura metalográfica, Dureza, Tensión).

Con la información recolectada se procedió a elaborar tablas (tabulación de datos) para una mejor interpretación de los resultados obtenidos, por último se estableció las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN DE MATERIAL

Debido a que el material utilizado para la realización de esta investigación fue adquirido sin una hoja de especificaciones técnicas, antes de cumplir con el objetivo de precalentar, soldar, e identificar la influencia del precalentamiento en las propiedades mecánicas de la junta soldada, se procedió a identificar sus propiedades mediante ensayos metalográficos, ensayos de tracción, dureza y análisis químico, los cuales sirvieron como punto de referencia al momento de involucrar al hierro fundido gris dentro de la presente investigación.

Tabla 4.1 Dimensionamiento del material base

DIMENSIONES DE LA PLACA RECTANGULAR (Material Base)		
Largo	59.6 cm	
Ancho	39.8 cm	
Espesor	12.5 cm	

Elaborado por: Oscar Tene

4.1.1 Proceso de investigación.

En la presente investigación para el análisis e interpretación de resultados se desarrolló el siguiente proceso el cual fue considerado el siguiente diagrama de flujo en el desarrollo de la misma, siguiendo así la siguiente secuencia dentro de la investigación.

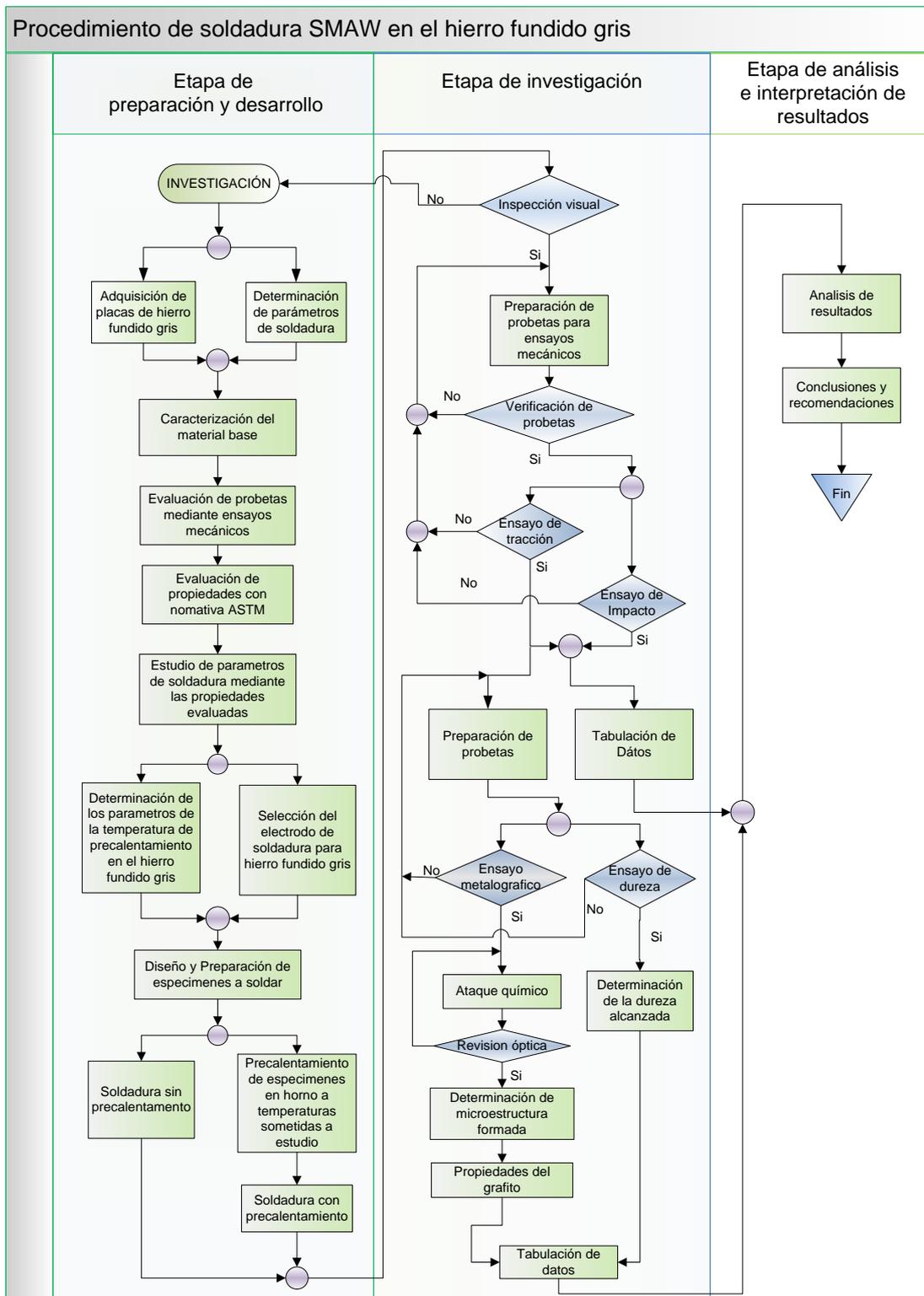


FIGURA 4.1 Secuencia de la investigación de la soldadura del hierro fundido
(Elaborado por: Oscar Tene)

4.1.2 Presentación de resultados.

A continuación se presenta los resultados de los ensayos realizados con el material base (Hierro fundido gris) antes de la aplicación de soldadura SMAW para determinación de sus propiedades, también se detallan a continuación los resultados obtenidos con la aplicación de la soldadura sin precalentamiento y soldadura con precalentamiento, los cuales se consideraron para probar la incidencia en las propiedades mecánicas de la junta soldada.

Los respectivos ensayos que fueron realizados son representados a continuación detallando la designación de las probetas y el número de probetas ensayadas para el respectivo ensayo.

N°	Aplicación	Ensayo	Designación
1	Caracterización del material	Ensayo a Tracción	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
2	Caracterización del material	Ensayo Metalografico	1.0, 2.0
3	Caracterización del material	Ensayo de Dureza	1.0
4	Caracterización del material	Ensayo Químico	1.0

➤ **Probetas soldadas ensayadas a tracción**

1	Soldadura sin precalentamiento	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
2	Soldadura con precalentamiento a 100° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
3	Soldadura con precalentamiento a 200° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
4	Soldadura con precalentamiento a 300° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
5	Soldadura con precalentamiento a 370° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
6	Soldadura con precalentamiento a 400° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
7	Soldadura con precalentamiento a 500° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
8	Soldadura con precalentamiento a 600° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0

➤ **Probetas soldadas ensayadas a metalografía**

1	Soldadura sin precalentamiento	1.0 (MF, ZAT, MB)
---	--------------------------------	-------------------

2	Soldadura con precalentamiento a 100° C	1.0 (MF, ZAT, MB)
3	Soldadura con precalentamiento a 200° C	1.0 (MF, ZAT, MB)
4	Soldadura con precalentamiento a 300° C	1.0 (MF, ZAT, MB)
5	Soldadura con precalentamiento a 370° C	1.0 (MF, ZAT, MB)
6	Soldadura con precalentamiento a 400° C	1.0 (MF, ZAT, MB)
7	Soldadura con precalentamiento a 500° C	1.0 (MF, ZAT, MB)
8	Soldadura con precalentamiento a 600° C	1.0 (MF, ZAT, MB)

➤ **Probetas soldadas ensayadas dureza**

1	Soldadura sin precalentamiento	1.0 (MF, ZAT, INT, MB)
2	Soldadura con precalentamiento a 100° C	1.0 (MF, ZAT, INT, MB)
3	Soldadura con precalentamiento a 200° C	1.0 (MF, ZAT, INT, MB)
4	Soldadura con precalentamiento a 300° C	1.0 (MF, ZAT, INT, MB)
5	Soldadura con precalentamiento a 370° C	1.0 (MF, ZAT, INT, MB)
6	Soldadura con precalentamiento a 400° C	1.0 (MF, ZAT, INT, MB)
7	Soldadura con precalentamiento a 500° C	1.0 (MF, ZAT, INT, MB)
8	Soldadura con precalentamiento a 600° C	1.0 (MF, ZAT, INT, MB)

➤ **Probetas soldadas ensayadas dureza**

1	Soldadura sin precalentamiento	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
2	Soldadura con precalentamiento a 100° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
3	Soldadura con precalentamiento a 200° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
4	Soldadura con precalentamiento a 300° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
5	Soldadura con precalentamiento a 370° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
6	Soldadura con precalentamiento a 400° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
7	Soldadura con precalentamiento a 500° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
8	Soldadura con precalentamiento a 600° C	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0

Todos los ensayos de caracterización y estudio con con/sin precalentamiento fueron realizados con probetas bajo norma dentro de sus dimensiones y características así como su procedimiento a ser ensayada (Ver Pag. 12).

4.1.3 Datos del hierro fundido gris adquirido de fábrica.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS				R.D.I. N° 001	
Autorizado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		Realizado por:	Oscar Tene	
Lugar de Realización:	Laboratorio de Materiales FICM		Fecha de ejecución:	10/09/2012	
Temperatura Ambiente del Lugar	22° C		Flujo de aire del medio:	Estático	
ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL BASE					
DATOS TÉCNICOS				DETALLE REFERENCIAL	
Especificación del material:	Hierro gris	Tipo o grado:	Desconocido		
Resistencia a la tracción:	Desconocido	Dureza:	Desconocido		
Estructura:	Desconocido	Resistencia al Impacto	Desconocido		
Característica:	Superficie rugosa	Tratamiento Térmico:	No		
Espesor:	12.5 cm	Longitud:	59.6 cm	Ancho:	39.8 cm
OBSERVACIONES:					
<p>El material base adquirido tiene una superficie rugosa y con algunas impurezas superficiales, las características técnicas del material son desconocidas, por el fabricante (Siderúrgica Tungurahua) solo se conoce su denominación como hierro fundido gris.</p>					

4.1.4 Ensayo metalográfico material base.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO			E.M Nº: 002
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	Desconocido
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	10/09/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	56 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital al 2%		
Tiempo de ataque:	6 seg	Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS			
Material Base, Hierro Fundido Gris			
 			
Material Base, Hierro fundido Gris a 100X, Nital 2, 6 Seg.			
			
Material Base, Hierro fundido gris a 400X, Nital 2, 6 Seg.			
OBSERVACIONES			



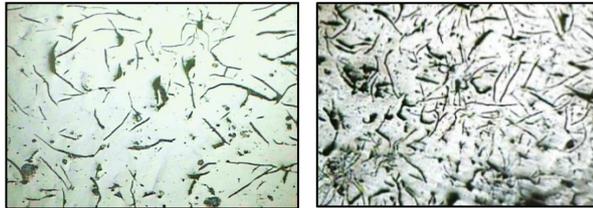
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



ENSAYO METALGRÁFICO

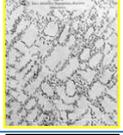
E.M. N°: 003

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	Desconocido
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	10/09/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	56 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital al 2%		
Tiempo de ataque:	6 seg	Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS			



Hierro fundido gris magnificado a 100X, Nital 2, 6 Seg.

▪ **Análisis**

Tipo		Porcentaje
	A&B	100%
	C	0%
	D	0%
	E	0%

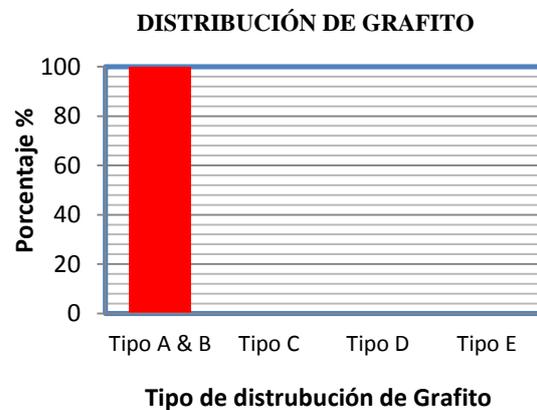


Tabla 6.1 Distribución de grafito

(Fuente: ASTM, 1998, "Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings", Rating Chart)

OBSERVACIONES

Realizado una vez el análisis, se determinó que el material base tiene una distribución de grafito Tipo A uniforme y tipo B agrupación en forma de rosetas.

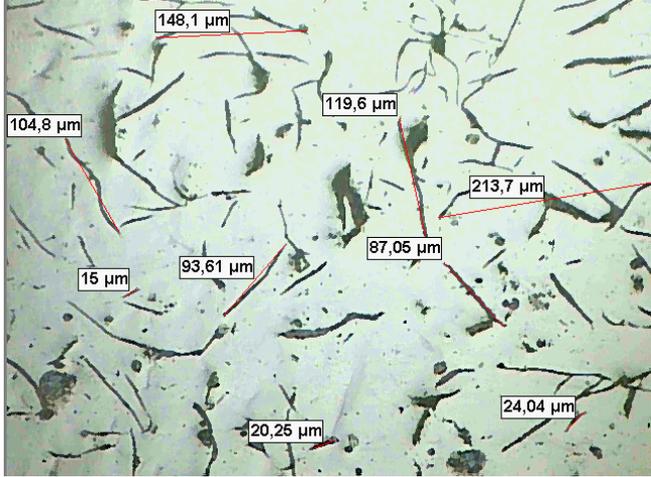
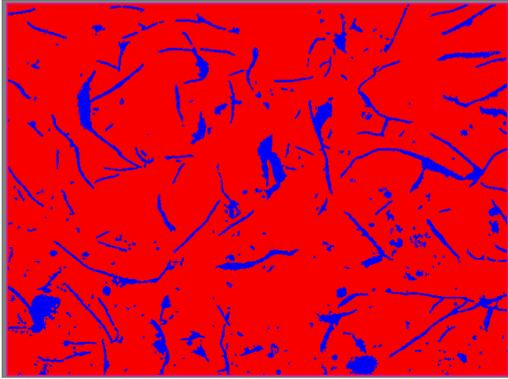
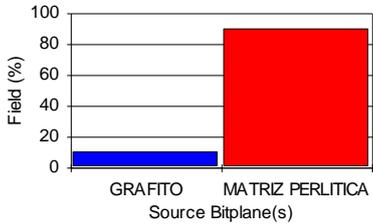


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

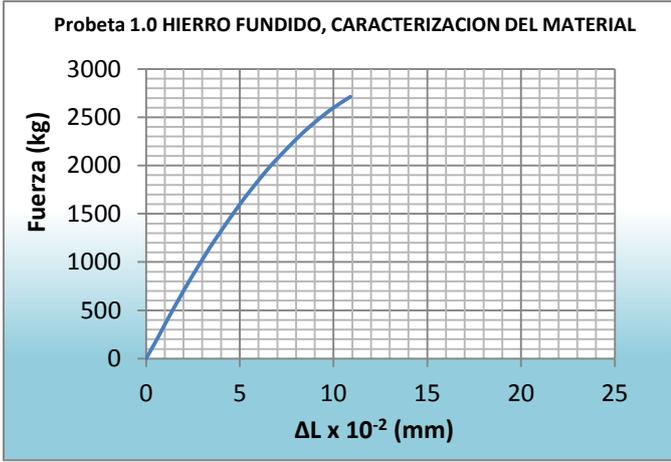


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

E. M. N° 003

<p align="center">DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO</p>	<p align="center">MICROESTRUCTURA</p>						
<p align="center">RESULTADOS SOFTWARE</p> <p>Statistics GRAFITHE LENGHT</p> <p>Minimum: 15 μm</p> <p>Maximum: 213.7 μm</p> <p>Mean: 91.8 μm</p> <p>Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fundición gris tipo: VII ✓ Forma de grafito: Laminar ✓ Distribución de grafito: A ✓ Tamaño de grafito: 4 -3 ✓ Matriz: Ferrito- Perlítica 	 <p align="center">Hierro Fundido Gris a 100X, Nital 2, 6 Seg.</p>						
<p>Componentes:</p>	<p align="center">Grafito laminar en una matriz perlítica</p>						
<p align="center">Componentes Microestructurales:</p>  <p align="center">Imagen Binarizada, 200X</p>	<p align="center">Porcentajes:</p>  <table border="1" data-bbox="919 1424 1350 1518"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRAFITO</td> <td>10,1</td> </tr> <tr> <td>MATRIZ PERLITICA</td> <td>89,9</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	GRAFITO	10,1	MATRIZ PERLITICA	89,9
S. Bitplane(s)	Field (%)						
GRAFITO	10,1						
MATRIZ PERLITICA	89,9						
<p align="center">INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</p>							
<p>La microestructura analizada presenta el 10.1% de grafito laminar en un 89.9% de matriz perlítica y según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar, con orientación al azar, con una distribución de grafito de tipo A y el tamaño de grafito es N°4</p>							

4.1.5 Ensayo de tracción del material base.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN				E.T. N°: 004	
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	N° de Probeta:	1		
Solicitado por:	U.T.A. - FICM	Fecha:	25/10/12		
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM				
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E-8 M		
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado				
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm		
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas		
RESULTADO					
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.9 mm		
Carga Máxima:	2886.0 kg	Carga de Ruptura:	2886,2 kg		
GRAFICO FUERZA – ΔL Probeta 1.0 HIERRO FUNDIDO, CARACTERIZACION DEL MATERIAL					
					
Calculo del porcentaje de alargamiento: Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51,59 - 50}{50} * 100 = 3,18 \%$					
Calculo Reducción porcentual del área: % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{156,25 - 150,58}{156,25} * 100\% = 3,62 \%$					
Calculo de la resistencia ultima a la tracción: $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{2886,2 \text{ kg}}{156,25 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 18,47 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 26,27 \text{ ksi}$					
OBSERVACIONES					



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. N°: 005

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	N° de Probeta:	2
Solicitado por:	U.T.A. - FICM	Fecha:	25/10/12
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		

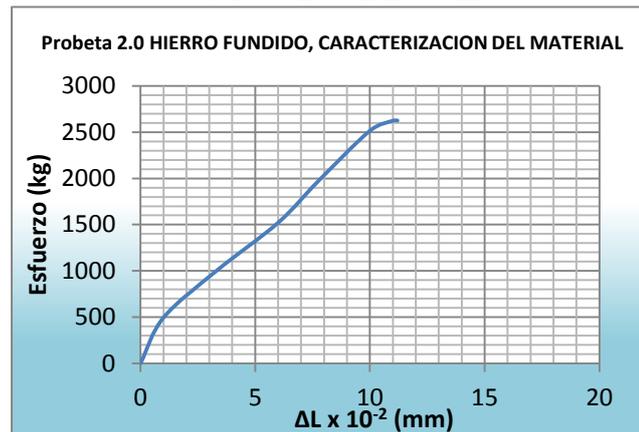
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E-8 M
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADO

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52,22 mm
Carga Máxima:	2650,0 kg	Carga de Ruptura:	2651,4 kg

GRAFICO ESFUERZO - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52,22 - 50}{50} * 100 = \mathbf{4,44\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{156,25 - 149,68}{156,25} * 100\% = \mathbf{4,20\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{S_{ut}} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{2651,4 \text{ kg}}{156,25 \text{ mm}^2} = \mathbf{S_{ut} = 16,968 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 24,14 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. Nº: 006

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Nº de Probeta:	3
Solicitado por:	U.T.A. - FICM	Fecha:	25/10/12
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		

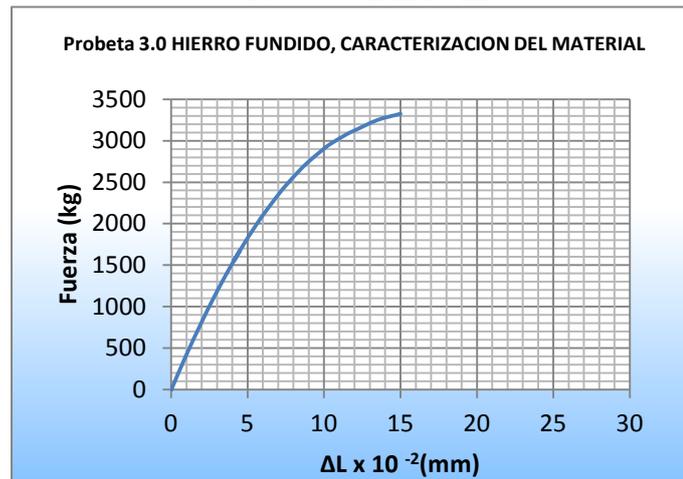
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E-8 M
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADO

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52,81 mm
Carga Máxima:	3352,00 kg	Carga de Ruptura:	3353,00 kg

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52,81 - 50}{50} * 100 = \mathbf{5,62\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{156,25 - 149,98}{156,25} * 100\% = \mathbf{4,01\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3353,00 \text{ kg}}{156,25 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 21,459 \frac{kg}{mm^2} = 30,52 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. Nº: 007

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Nº de Probeta:	4
Solicitado por:	U.T.A. - FICM	Fecha:	25/10/12
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		

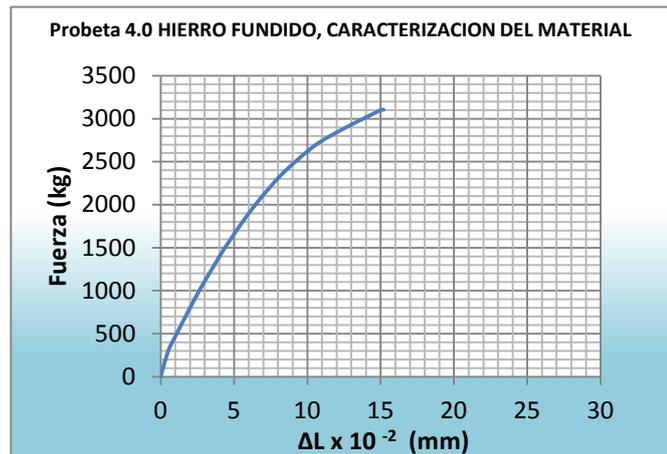
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E-8 M
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADO

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.59 mm
Carga Máxima:	3103.0 kg	Carga de Ruptura:	3104.5 kg

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52,59 - 50}{50} * 100 = \mathbf{5,18\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{156,25 - 148,84}{156,25} * 100\% = \mathbf{4,97\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3104,5 \text{ kg}}{156,25 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 19,868 \frac{kg}{mm^2} = 28,26 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. Nº: 008

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De campo y laboratorio	Nº de Probeta:	5
Solicitado por:	U.T.A. - FICM	Fecha:	25/10/12
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		

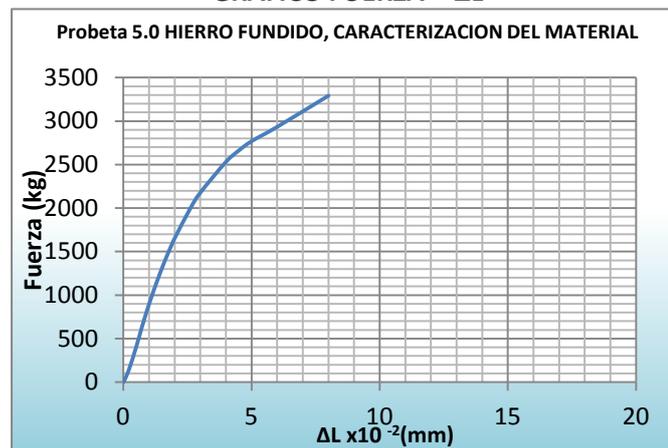
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E-8 M
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	20 mm
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADO

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	53,12 mm
Carga Máxima:	3290,9 kg	Carga de Ruptura:	3291,9 kg

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{53,12 - 50}{50} * 100 = \mathbf{6,24\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

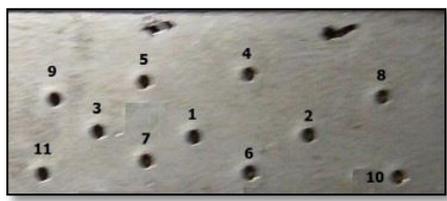
$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{156,25 - 147,75}{156,25} * 100\% = \mathbf{5,44\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3291,9 \text{ kg}}{156,25 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 21.068 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 29.97 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES

4.1.6 Ensayo de dureza del material base.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																											
																															
ENSAYO DE DUREZA					E.D. N° 009																										
DATOS INFORMATIVOS:																															
Tipo de estudio:	De campo y laboratorio		N° de Ensayo:	001																											
Identificación del componente de estudio:			N° de Probeta:	001																											
Solicitado por:	U.T.A. - FICM		Fecha:	11/11/2012																											
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM																														
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.																												
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO																															
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA																														
Temperatura Ambiente:	21,5 °C	Otros:																													
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																															
Método:	Rockwell	Tipo:	B																												
Tipo de penetrador:	Esfera de acero de 1/16" in																														
Cantidad de carga aplicada:	980 N	Tiempo de ensayo:	25 min																												
RESULTADO																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Dureza (HRB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>68.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>74.8</td></tr> <tr><td>3</td><td>78.0</td></tr> <tr><td>4</td><td>80.0</td></tr> <tr><td>5</td><td>84.0</td></tr> <tr><td>6</td><td>93.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>85.0</td></tr> <tr><td>8</td><td>81.0</td></tr> <tr><td>9</td><td>93.2</td></tr> <tr><td>10</td><td>81.0</td></tr> <tr><td>11</td><td>82.0</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>81.66</td></tr> </tbody> </table>		N°	Dureza (HRB)	1	68.0	2	74.8	3	78.0	4	80.0	5	84.0	6	93.5	7	85.0	8	81.0	9	93.2	10	81.0	11	82.0	Promedio	81.66				
N°	Dureza (HRB)																														
1	68.0																														
2	74.8																														
3	78.0																														
4	80.0																														
5	84.0																														
6	93.5																														
7	85.0																														
8	81.0																														
9	93.2																														
10	81.0																														
11	82.0																														
Promedio	81.66																														
Dureza Promedio = 81.66 HRB = 142.93 HB																															
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS																															
<p>La dureza obtenida del ensayo es de 142. 10 HB, es aceptable debido a que es el resultado de la investigación del material base que era desconocido ya que cuando se lo adquirido de la siderúrgica presentaba una dureza desconocida</p>																															

4.1.7 Composición química del material base

Como se mencionó antes así como las propiedades mecánicas de este material eran desconocidas las propiedades químicas también lo son. La composición química del material base es esencial y parte fundamental de esta investigación para la determinación de la temperatura de precalentamiento que más adelante lo calcularemos.

El análisis químico del material base se lo realizó mediante el método de espectrometría como se muestra en la figura 4.2.

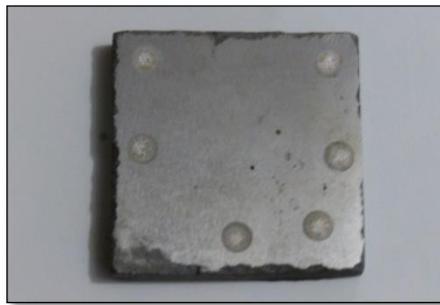


Figura 4.2 Probeta del ensayo de análisis químico (Método de espectrometría)
Elaborado por: (Ferro aleaciones S.A. FALESA, Departamento de fundición Guayaquil)

Luego del análisis realizado los resultados fueron los siguientes:

Tabla 4.2. Composición química del material base

ANÁLISIS QUÍMICO, MATERIAL BASE (Resultados)			
C = 3.80 %	Al = 0.00430 %	W = <0.0100 %	Bi = <0.0015 %
Si = 2.13 %	Cu = 0.427 %	Pb = <0.0030 %	Ce = <0.0030 %
Mn = 0.468 %	Co = 0.013 %	Mg = <0.0010 %	Zr = <0.0015 %
P = 0.224 %	Ti = 0.0210%	B = <0.0005 %	La = 0.00150 %
S = 0.0780 %	Nb = <0.0025 %	Sn = 0.0190 %	Fe = 92.4 %
Cr = 0.204 %	V = 0.0140 %	Zn = 0.0130 %	
Ni = 0.123 %	Mo = 0.0250 %	As = 0.0150 %	

Realizado por: (Ferro aleaciones S.A. FALESA, Departamento de fundición Guayaquil)

El informe detallado del análisis químico se presenta en el Anexo A1

4.1.8 Propiedades de la fundición gris según el diagrama de Maurer.

El diagrama siguiente llamado, diagrama de MAURER que fue uno de los primeros que señalaron una forma clara de relación entre los % de carbono y % de silicio clasificando los diferentes tipos de estructuras de las fundiciones es utilizado para comprobar la matriz.

El diagrama de MAURER constituye las siguientes zonas:

- **Zona I:** Fundiciones blancas
- **Zona II a:** Fundiciones Atruchadas (Con perlita y cementita)
- **Zona II:** Fundiciones Perliticas
- **Zona II b:** Fundiciones Con ferrito-perlítica
- **Zona III:** Fundiciones Ferrítica

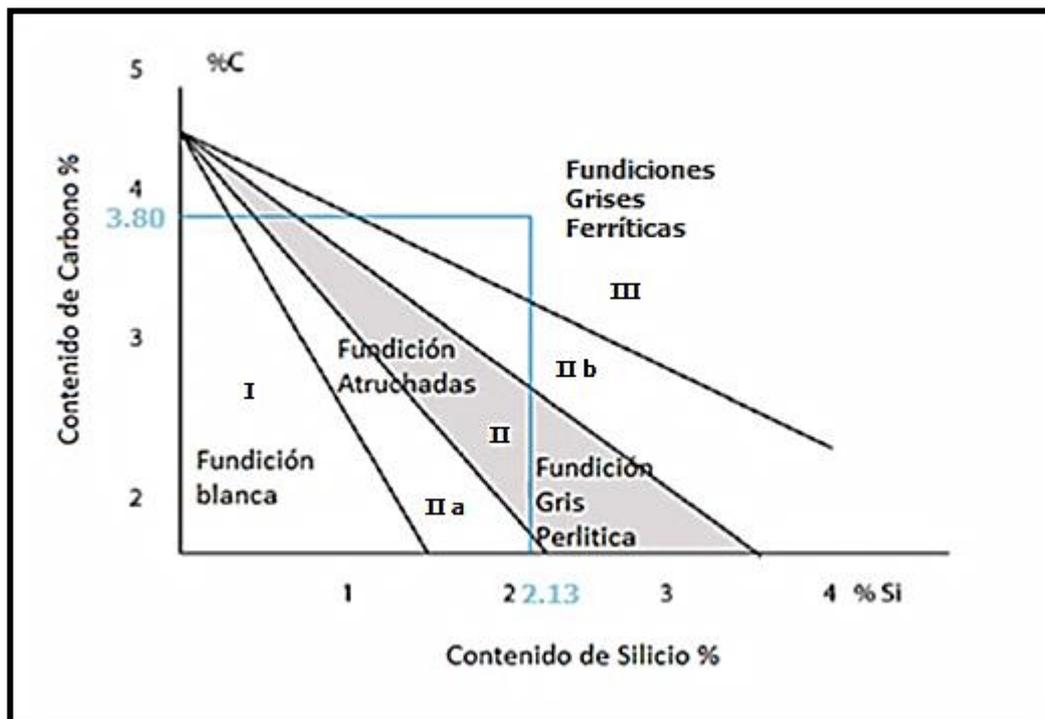


Figura 4.3. Diagrama de Maurer para fundiciones de hierro
Referencia: M. PASTOR, Introducción a la metalurgia de la soldadura, S.F. Editorial, Pag 50.

De acuerdo a los porcentajes Silicio (2.13%) y de carbono (3.80%) Que contiene el material base, en el diagrama de Maurer esta fundición se la identifica como una fundición gris con matriz ferrítica

4.1.9 Propiedades de la fundición gris según el diagrama de Norbury.

El diagrama de Maurer ha sido modificado y perfeccionado por otros investigadores, siendo en la actualidad el de NORBURY uno de los más aceptados. El diagrama de Norbury será utilizado para comprobar la matriz del material base a ser soldado.

El diagrama de Norbury constituye tres zonas:

- Fundiciones Blancas
- Fundiciones Perlíticas
- Fundiciones Gris Perlíticas

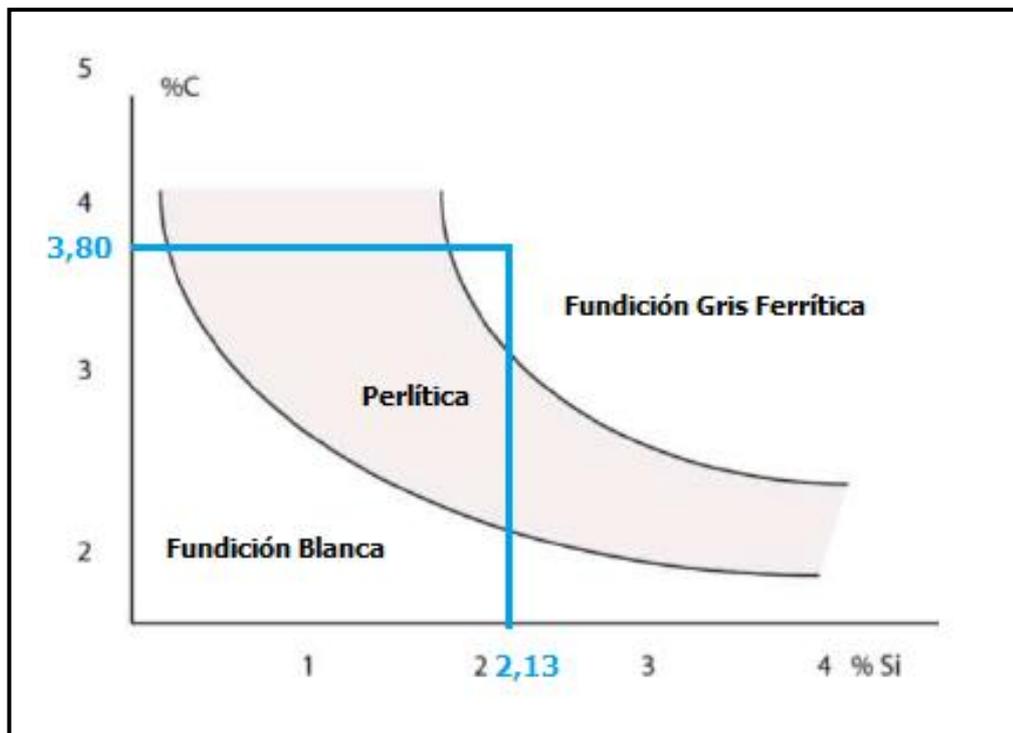


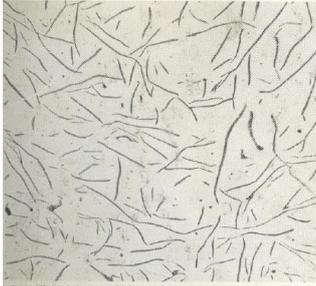
Figura 4.4. Diagrama de Norbury para fundiciones de hierro

Referencia: APRIZ BARREIRO, J. 1963, Fundiciones, Madrid, Editorial Dossat, 2 Edición.

El elemento que rompe la matriz de la cementita es el silicio y debido al alto porcentaje de carbono que contiene el material base en el diagrama de NORBURY podemos observar que este diagrama señala a esta fundición como una fundición gris ferrítica

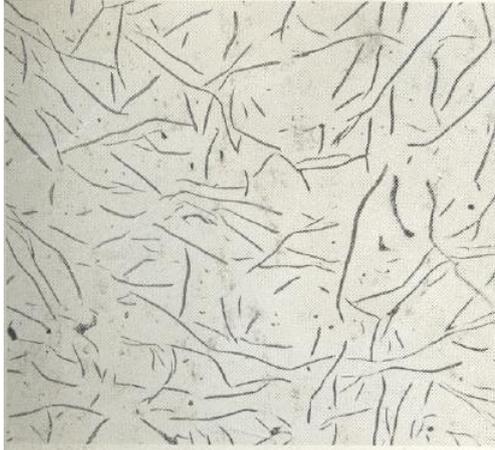
4.1.10 Comparación del tipo de grafito en una fundición de hierro gris.

Con los resultados obtenidos del ensayo de metalografía para obtener la microestructura se realizó una comparación con macrofotografías de hierro fundido gris del libro del Metal Handbook.

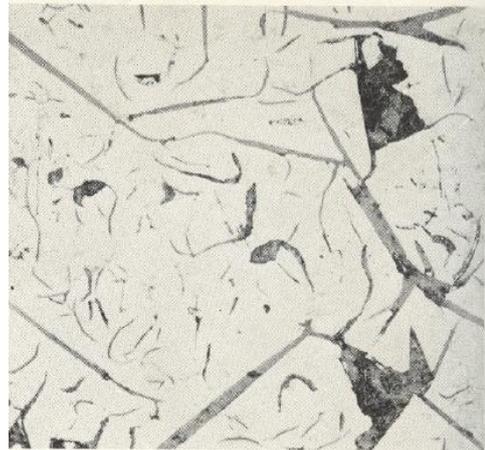
COMPARACIÓN VISUAL DE LOS TIPOS DE GRAFITO (METAL HANDBOOK) VS RESULTADOS OBTENIDOS		
 <p style="text-align: center;">100 X</p>	 <p style="text-align: center;">100 X</p>	 <p style="text-align: center;">100 X</p>
<p>Tipo A distribución de láminas de grafito en el hierro gris, caracterizada por una distribución uniforme y una orientación aleatoria</p>	<p>Tipo B Distribución de copos de grafito en el hierro gris caracteriza por agrupar y una orientación al azar</p>	<p>Tipo C de distribución de escamas de grafito en el hierro gris, caracterizado por tamaño de las escamas superponen y orientación aleatoria</p>
 <p style="text-align: center;">100 X</p>	 <p style="text-align: center;">100 X</p>	
<p>Tipo D distribución de escamas de grafito en el hierro gris, caracterizada por la segregación interdendrítica y orientación al azar</p>	<p>Tipo E distribución de escamas de grafito en el hierro gris, que se caracterizan por la segregación interdendrítica y orientación ordenada</p>	



Comparacion Visual



GRAFITO TIPO A, 100X



GRAFITO TIPO C, 100X

FUNDICION GRIS (MATERIAL BASE UTILIZADO EN LA INVESTIGACION)



Aumento a 100 X

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en el laboratorio de materiales utilizando al HIERRO GRIS como objeto de estudio, nos ha dado como resultado la fotografia N° 6 y en comparacion visual con los diferentes tipo de grafito establecidos en METAL HANDBOOK volumen 6, se establece que el hierro fundido gris utilizado en esta investigacion, es de Tipo A con una distribucion de laminas de grafito uniforme en una orientacion aleatoria

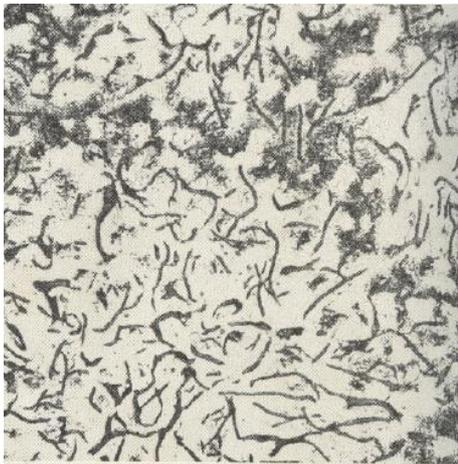
4.1.11 Comparación de la clase de fundición de hierro gris.

El metal handbook establece cuatro clases distintas de fundición de hierro gris las cuales son utilizadas para comparación con el material base utilizado en esta investigación.

CLASES DE HIERRO FUNDIDO GRIS	
 <p>100 X</p>	 <p>100 X</p>
<p>CLASE 20 hierro gris recocido medio manteniendo a 1450 °F (788 °C) 1 hora por pulgada de espesor, el enfriamiento del horno a 800 °F (427 °C) o de enfriamiento de aire, Tipo A grafito en una matriz de ferrita y perlita libres: bandas oscuras de perlita por los limites</p>	<p>Clase 30 hierro gris fundido a un molde de arena. Estructura: Tipo A , hojuelas de grafito en una matriz de 20% libre de ferrita (constituyente de la parte blanca y 80% perlita (parte oscura contituyente)</p>
 <p>100 X</p>	 <p>100 X</p>
<p>Clase 40 hierro gris, Estructura Tipo D, medida 7, Copos de grafito en una matriz de perlita fina, con numerosas partículas de carburo (blanco) debido a la rápida solidificación</p>	<p>Clase 50 hierro gris como de fundición Tamaño 7 copos de grafito con la segregación interdendrítica, copos son principalmente de tipo D (orientación aleatoria), pero algunos son de tipo E orientación preferente), posiblemente debido a la inoculación inadecuada</p>



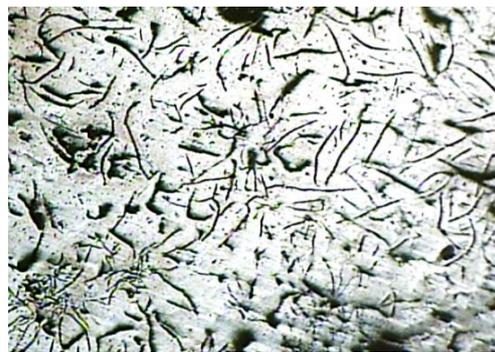
Comparacion Visual



CLASE 20 hierro gris recocido medio manteniendo a 1450 °F (788 °C) 1 hora por pulgada de espesor, el enfriamiento del horno a 800 °F (427 °C) o de enfriamiento de aire, Tipo A grafito en una matriz de ferrita y perlita libres: bandas oscuras de perlita por los limites



Clase 30 hierro gris fundido a un molde de arena. Estructura: Tipo A hojuelas de grafito en una matriz de 20% libre de ferrita (constituyente de la parte blanca y 80% perlita (parte oscura contituyente)



Hierro fundido gris a 100 X

Conclusión:

En las fotografías se puede observar que el hierro fundido gris al cual se asemeja las fotografías del material base en la investigación son a la del hierro fundido gris clase 30 con hojuelas de Tipo A con una microestructura de grafito en una matriz ferrito-perlítico, donde la ferrita constituye la parte blanca y la perlita la parte oscura, esto según una evaluación comparativa con las fotografías del METAL HANDBOOK volumen 6.

4.1.12 Caracterización del material base.

Después de la adquisición del material base se realizaron análisis minuciosos aplicando diferentes tipos de ensayos, en donde se pudo determinar los siguientes resultados:

✚ Se seleccionó como metal base una fundición gris cuya microestructura predominante es una matriz Ferrito–Perlítica con grafito laminar en forma de hojuelas tipo A y B según la especificación de la norma ASTM A 247 y una comparación visual con las fotografías de microestructuras presentadas en libro del METAL HANDBOOK volumen 6, a 100 X. En la tabla 4.3, se muestra la composición química obtenida por el método de espectrometría donde se muestra la presencia de un alto contenido de silicio, este energético grafitizador el cual tiende a presentar una matriz ferrítica de baja resistencia mecánica.

El metal base presenta un dureza 142.10 HBS. Con un carbono equivalente de 4.77% y con un resistencia a la tracción de 27.30 Ksi, que comparada con la norma ASTM A48, se puede clasificar a esta fundición como clase 25 – 30.

A continuación la tabla 4.2 ilustra las principales características y propiedades mecánicas de interés del material base que se utilizó para la presente investigación.

Tabla 4.3 Características y propiedades del material base

PRINCIPALES PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL BASE	
Propiedad o Característica	Resultado
Carbono equivalente:	4.77 %
Carbono total:	3.80 %
Dureza Brinell:	142.93 HB
Resistencia a la tracción promedio:	27.30 Kpsi
Tamaño de grafito libre:	4-3
Distribución de grafito:	Tipo A - B
Matriz predominante:	Ferrito - Perlítica

Elaborado por: Oscar Tene

4.1.13 CONSIDERACIONES PARA LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS

1. Placas de ensayo para el estudio de la soldadura del hierro fundido gris con precalentamiento.

La preparación de las placas a soldar fue parte fundamental para el presente estudio ya que es un factor importante que puede influir directamente en las propiedades mecánicas de la junta soldada y finalmente en su rendimiento para el servicio.

El diseño y selección de la probeta de ensayo para el presente estudio está dirigida hacia el objetivo mismo de la investigación. Existen diversas formas geométricas para el diseño de la junta a ser soldada, fundamentadas en normas de soldadura, para las fundiciones de hierro los diseños más importantes están concentrados en los modelos de: restricción para la solidificación del cordón, el modelo homologado por la AWS y los de selección libre.

Este estudio para el diseño de la junta a ser soldada tomara en cuenta los parámetros homologados por la AWS D11.2 y AWS B4.0 de donde se acondicionara un modelo conservativo en que las dimensiones impuestas permitan extraer probetas para realizar la soldadura y para los diferentes ensayos mecánicos a realizarse

2. Dimensionamiento de la junta a ser soldada

La norma AWS D11.2 en el literal 3.2 establece que el diseño de la junta puede influir en las propiedades de la soldadura para lo cual sugiere el diseño en base al espesor del metal (T), la figura a continuación muestra los parámetros que se debe tomar en cuenta dentro de la geometría de la junta para hierros fundidos.

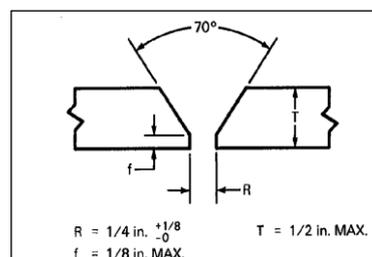


Figura 4.5. Junta recomendada por la norma AWS D11.2
Fuente: ANSI/AWS D11.2, 1989, Guide for welding iron castings, AWS Society, Pag 16.

Tomando como referencia estas consideraciones las medidas serán para la geometría de la junta para el presente estudio son las siguientes:

$$T = 8 \text{ mm}$$

$$R = 6.35 \text{ mm}$$

$$f = 2 \text{ mm}$$

$$\text{Angulo} = 70^\circ$$

2.1 Dimensionamiento de la probeta

Como se mencionó antes el cuerpo de la probeta esta acondicionado a un modelo conservativo el cual permita realizar los diferentes ensayos mecánicos, el dimensionado se lo realizo basado en norma AWS B4.0 donde establece el siguiente tipo para un ensayo a tracción:

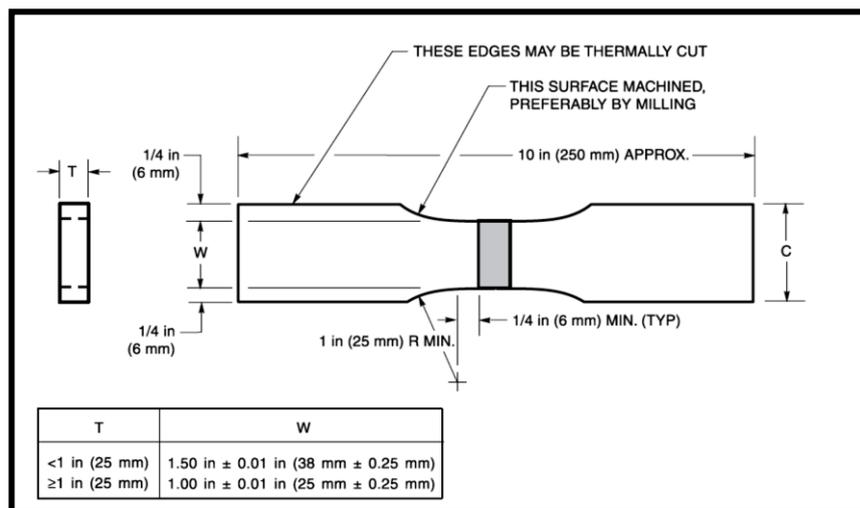


Figura 4.6 Probeta de Tensión transversal rectangular (Platina).

FUENTE: AWS B4.0, 2007, Standard Methods for Mechanical Testing of Welds, Pag. 6.

[17]

Entonces tomando como referencia los parámetros se ha establecido el siguiente modelo:

$$C = 50 \text{ mm}$$

$$W = 38 \text{ mm}$$

$$T = 6 \text{ mm}$$

$$R = 20 \text{ mm}$$

3. Material de aporte utilizado

A continuación se presentara un resumen de las propiedades del material de aporte utilizado en la investigación la cual se encuentra clasificada dentro de la especificación AWS A5.15, que para la investigación es E-Ni-CI

Tabla 4.4 Propiedades del material depositado según el fabricante

Denominación:	WEST ARCO: Níquel 100	AWS A5.15: ENi-CI		
Composición Química del material depositado:	Carbono 2.00 % máx.	Manganeso 1.00% máx.		
	Azufre 0.03% máx.	Silicio 4.00% máx.		
	Cobre 2.50% máx.	Níquel 85.00% mín.		
	Hierro 8.00% máx.	Aluminio 1.00% máx.		
Resistencia máxima a tracción:	24 – 32 kg/mm ² 35 – 45 ksi	Dureza del depósito: 1 ^{ra} capa 190–230 HB 2 ^{da} capa 155–195 HB		
Límite de fluencia:	22 – 30 kg/mm ² 32 – 42 ksi	Elongación: 3 – 6 %		
Propiedades de maquinado	Excelente maquinabilidad	Longitud del electrodo: 300 mm		
		350 mm		
		350 mm		
Diámetro del electrodo:	2.4x300 mm (3/32) pulg	Intervalo de amperajes recomendados: 40 – 80 A		
			3.2x350 mm (1/8) pulg	55 – 100 A
			4.0x350 mm (5/32) pulg	90 – 150 A
Tipo de aplicación:	CA, CC , Electrodo negativo	Pre calentamiento recomendado: Ninguna especificación		

Fuente: Catalogo de electrodos WEST ARCO

Las especificaciones del electrodo indica que se puede utilizar el electrodo el cualquier con corriente directa en cualquier polaridad y con corriente alterna. Con en la norma las especificaciones del electrodo recomienda realizar cordones cortos de no más de 5 a 8 cm de longitud, martillar el cordón inmediatamente después de apagar el arco para ayudar a eliminar los esfuerzos de contracción de la soldadura y la zona térmicamente afecta.

4. Determinación de la temperatura de precalentamiento para soldar hierro fundido gris

La determinación de la temperatura de precalentamiento interviene directamente al momento de investigar los siguientes parámetros:

- Prevención de grietas causadas por los gradientes de temperatura y tensiones térmicas.
- Reducción de las tensiones residuales en la fundición.
- Comportamiento de las deformaciones (expansiones y contracciones térmicas).
- El comportamiento de las zonas de la soldadura.
- Reducción los contaminantes de hidrocarburos en piezas fundidas de que han sido en servicio

Existen muchos métodos de determinación de temperatura de precalentamiento pero están dirigidos hacia el estudio del aceros los cuales no son aplicables para los hierros fundidos, en la norma AWS D11.2 y METAL HANDBOOK 2003, establece un procedimiento para determinar la temperatura de precalentamiento llamado “temperatura de no agrietamiento”, previo a una soldadura de hierro fundido, este procedimiento está basado en el cálculo del carbono equivalente, a continuación en la presente investigación desarrollamos el procedimiento.

4.1 Determinación del carbono equivalente.

La determinación del carbono equivalente se lo realiza mediante la siguiente ecuación descrita en el Metal Handbook 2006:

$$CE = C + 0.31 SI + 0.33 P + 0.45 S - 0.028Mn + Mo + Cr - 0.02 Ni - 0.01 Cu$$

$$CE = (3.80) + 0.31 (2.13) + 0.33 (0.224) + 0.45 (0.0780) - 0.028 (0.468) + (0.0250) + (0.204) - 0.02 (0.123) - 0.01 (0.427)$$

$$CE = 4.777 \%$$

Diferentes estudios así como la norma AWS D11.2 y Metal Handbook señalan que a mayor carbono equivalente, mayor será la temperatura de precalentamiento que necesite el material base para ser precalentado.

Si el tipo de fundición es conocido, pero su composición química no lo es, este método para determinar la temperatura de precalentamiento no es aplicable, entonces la precalentamiento debe estar basada en la microestructura y la resistencia a la tracción de la fundición.

Con el porcentaje de carbono equivalente ingresamos en la gráfica y determinamos la temperatura de precalentamiento.

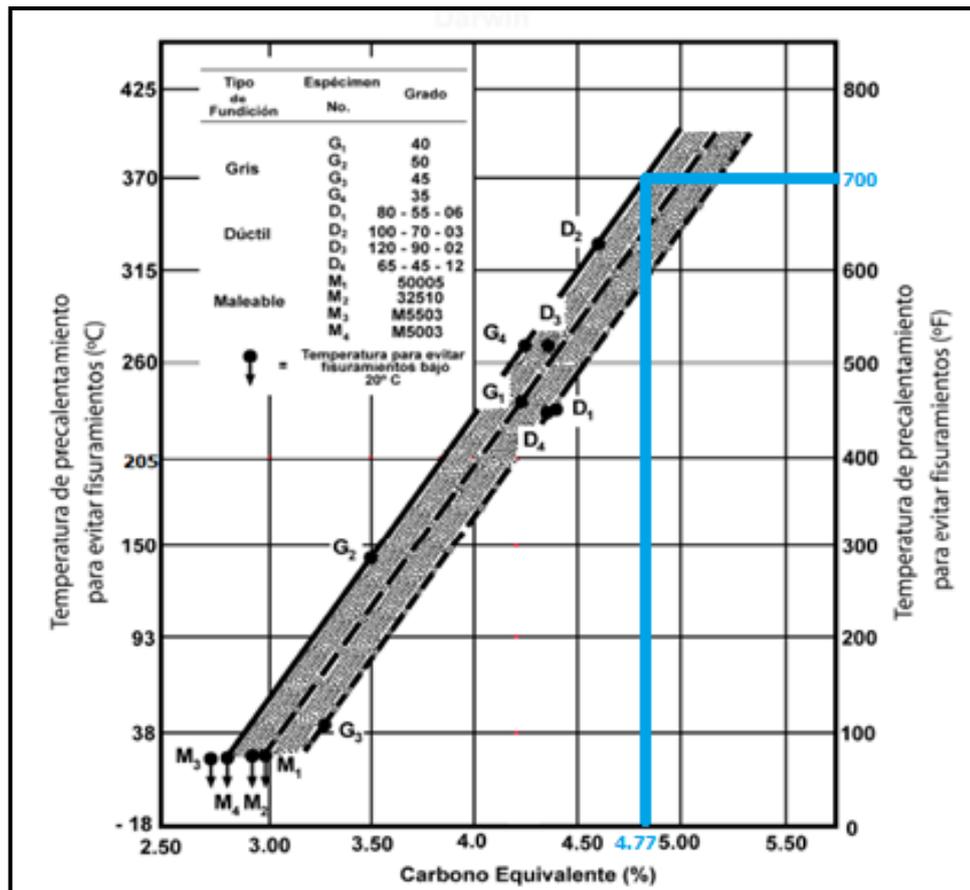


Figura 4.7 Procedimiento: Efecto del carbono equivalente en la temperatura de precalentamiento para el no agrietamiento para fundiciones de hierro
Fuente: AWS D11.2, 1989, Guide for welding iron castings, AWS Society, Pag. 10.

Mediante el cálculo del carbono equivalente y la gráfica 4.7 establecida en la norma AWS D11.2 se establece una temperatura de precalentamiento de:

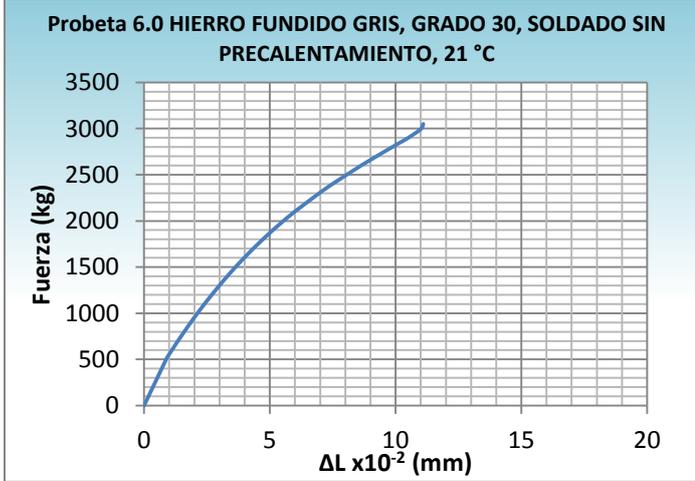
$$700^{\circ}\text{F} = 370^{\circ}\text{C}$$

La temperatura obtenida será sujeto de investigación así como otras temperaturas que nos sirvan como indicadores de comparación para determinar las propiedades de la junta soldada.

4.1.14 EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS PROBETAS SOLDADAS DE HIERRO FUNDIDO GRIS UTILIZANDO DIFERENTES TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ESPÉCIMEN DE SOLDADURA			
DATOS INFORMATIVOS			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Denominación:	Níquel 100
Tipo de Soldadura:	SMAW	T° de precalentamiento:	21 °C – 600 °C
Nº de Probetas:	1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 - 5.0	Medio de precalentamiento:	Ambiente
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	08/02/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
DETALLES			
Espesor:	8 mm	PROBETA HIERRO FUNDIDO GRIS 	
Longitud:	125 mm		
Ancho:	120 mm		
Preparación de probeta:	Fresado		
Resistencia a la tracción:	27.30 KPsi		
Dureza:	142.10 HBS		
Nº DE PROBETAS	MATERIAL DE APORTE	TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO	PWHT
6	E-Ni-Cl	Sin precalentamiento	Enfriamiento en arena
6	E-Ni-Cl	100 °C	Enfriamiento en arena
6	E-Ni-Cl	200 °C	Enfriamiento en arena
6	E-Ni-Cl	300 °C	Enfriamiento en arena
6	E-Ni-Cl	370 °C	Enfriamiento en arena
6	E-Ni-Cl	400 °C	Enfriamiento en arena
6	E-Ni-Cl	500 °C	Enfriamiento en arena
6	E-Ni-Cl	600 °C	Enfriamiento en arena
OBSERVACIONES			

4.1.14.1 ENSAYO A TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO SIN PRECALENTAMIENTO, CON ELECTRODO AWS E-Ni-CI

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN				E.T. N°: 010	
DATOS INFORMATIVOS:					
T° de precalentamiento	21 °C	N° de Probeta:	1.0		
Medio de precalentamiento	Ambiente	Fecha:	25/02/2013		
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW		
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM				
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E8M, AWS B4.0		
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado				
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1		
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas		
RESULTADOS					
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.75 mm		
Carga Máxima:	3137.8 kg	Deformación Max:	11.7 mm		
GRAFICO FUERZA - ΔL					
Probeta 6.0 HIERRO FUNDIDO GRIS, GRADO 30, SOLDADO SIN PRECALENTAMIENTO, 21 °C					
					
Calculo del porcentaje de alargamiento: Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.75 - 50}{50} * 100 = 3.50 \%$					
Calculo Reducción porcentual del área: % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 296.250}{304} * 100\% = 2,54 \%$					
Calculo de la resistencia ultima a la tracción: $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3137.8 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 10.322 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 14,68 \text{ ksi}$					
OBSERVACIONES					



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. Nº: 011

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	21 °C	Nº de Probeta:	2.0
Medio de precalentamiento	Ambiente	Fecha:	25/02/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

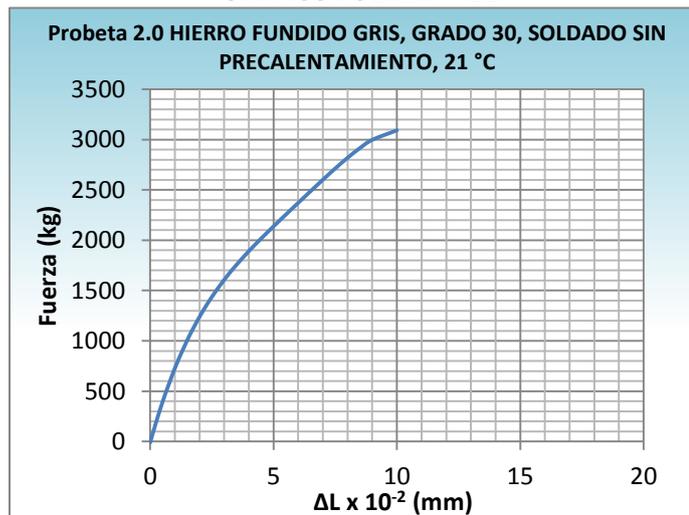
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.70 mm
Carga Máxima:	3091.9 kg	Deformación Max:	10.2 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.7 - 50}{50} * 100 = \mathbf{3.40\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 293.355}{304} * 100\% = \mathbf{3.50\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3091.9 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 10.171 \frac{kg}{mm^2} = 14,47 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. N°: 012

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	21 °C	N° de Probeta:	3.0
Medio de precalentamiento	Ambiente	Fecha:	25/02/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

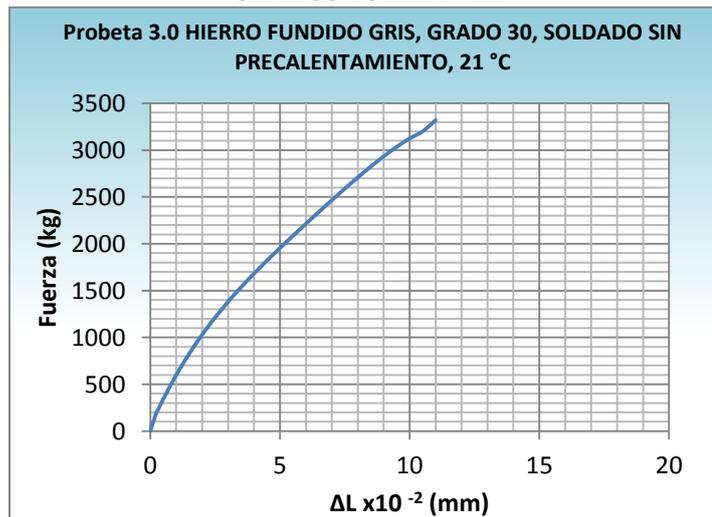
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.10 mm
Carga Máxima:	3319.9 kg	Deformación Max:	11.1 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.1 - 50}{50} * 100 = \mathbf{4.20\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 290.194}{304} * 100\% = \mathbf{4.54\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3319.9 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = \mathbf{10.921 \frac{kg}{mm^2} = 15,53 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. N°: 013

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	21 °C	N° de Probeta:	4.0
Medio de precalentamiento	Ambiente	Fecha:	25/02/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espin.

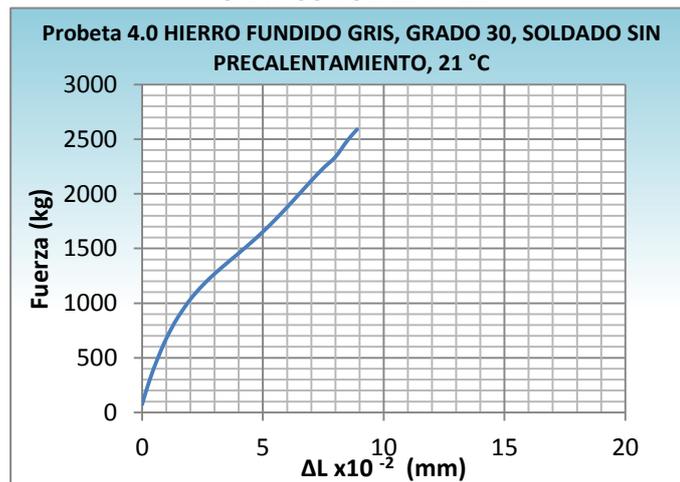
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.3 mm
Carga Máxima:	2590.1 kg	Deformación Max:	8.9 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.3 - 50}{50} * 100 = \mathbf{2.60\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 296.757}{304} * 100\% = \mathbf{2.38\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{2590.1 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{S_{ut} = 8.520 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 12,12 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

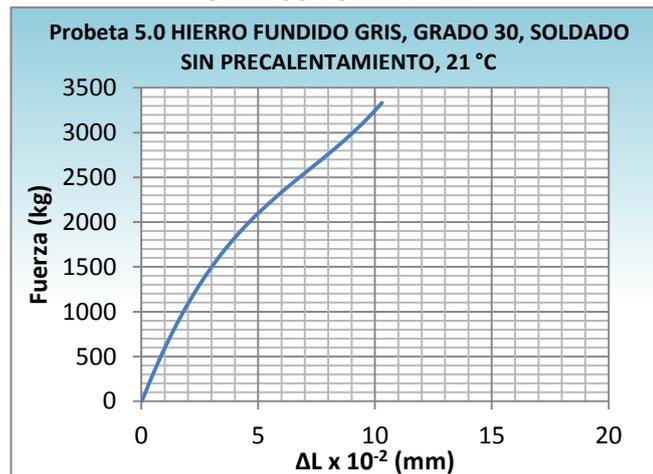
E.T. N°: 014

DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	21 °C	N° de Probeta:	5.0
Medio de precalentamiento	Ambiente	Fecha:	25/02/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.6 mm
Carga Máxima:	3378.9 kg	Deformación Max:	10.3 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.6 - 50}{50} * 100 = \mathbf{3.20 \%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

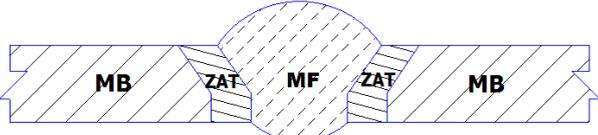
$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 291.013}{304} * 100\% = \mathbf{4.272 \%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{\max}}{A_0} = \frac{3378.9 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 11.115 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 15,813 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES

4.1.14.2 ENSAYO METALOGRÁFICO DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO SIN PRECALENTAMIENTO, CON ELECTRODO AWS E-Ni-CI

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRÁFICO			E.M. N°: 015
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	21°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Ambiente
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	18/03/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2, Reactivo Níquel – Cobre 38 ASTM E 470-07		
Tiempo de ataque:		Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS			
Zonas metalúrgicas de la soldadura analizadas.			
		NOMENCLATURA MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base	
			
MF		MB	
			
ZAT			
Junta soldada sin precalentamiento, 21°C, 100X			



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



ENSAYO METALOGRAFICO, METAL BASE

E.M. N°: 016

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

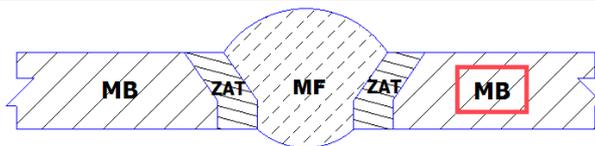
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	21 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Ambiente
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	18/03/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	3Seg.	Instrumento de observación	Microscopio

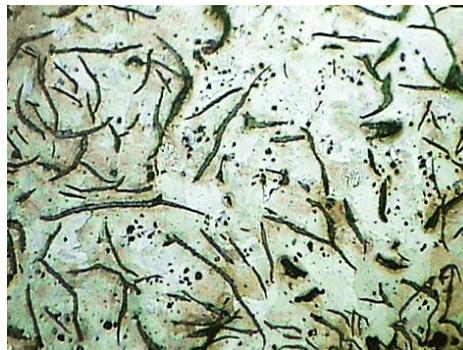
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.



NOMENCLATURA

- MF:** Metal Fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



METAL BASE 100X, Nital 2, 3 Seg.



METAL BASE 200X, Nital 2, 3 Seg.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE | **E. M. N° 016**

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO	MICROESTRUCTURA A 100X
RESULTADOS SOFTWARE	
<p>Statistics GRAFITHE LENGHT Minimum: 23,4 μm Maximum: 224,0 μm Mean: 108,0 μm</p> <p>Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fundición gris tipo: VII ✓ Forma de grafito: Laminar, Vermicular ✓ Distribución de grafito: A ✓ Tamaño de grafito: 4 ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica 	

Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada sin precalentamiento 21°C, Material base, Nital 2, 3 Seg.

Componentes: Grafito laminar en una matriz ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:	Porcentajes:						
<p>Imagen Binarizada, 200X</p>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grafito</td> <td>22,2</td> </tr> <tr> <td>Matriz Ferrito-Perlítica</td> <td>77,8</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Grafito	22,2	Matriz Ferrito-Perlítica	77,8
S. Bitplane(s)	Field (%)						
Grafito	22,2						
Matriz Ferrito-Perlítica	77,8						

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 22.2 % de grafito laminar en un 77.8% de una matriz ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar y vermicular, la distribución del grafito que presenta es de tipo A y su tamaño de grafito es N° 4



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



ENSAYO METALGRÁFICO, ZAT E.M. N°: 017

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

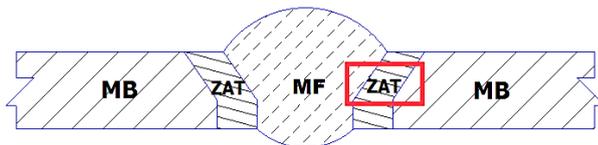
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	21°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Ambiente
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	18/03/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	3 Seg	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

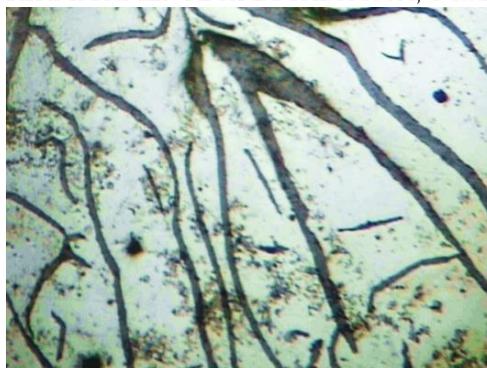


NOMENCLATURA

- MF:** Metal Fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 100X, Nital 2, 3 Seg.



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 200X, Nital 2, 3 Seg.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA, ZAT

E. M. N° 017

DETERMINACIÓN DEL
TAMAÑO DE GRAFITO

MICROESTRUCTURA A 100X

RESULTADOS SOFTWARE

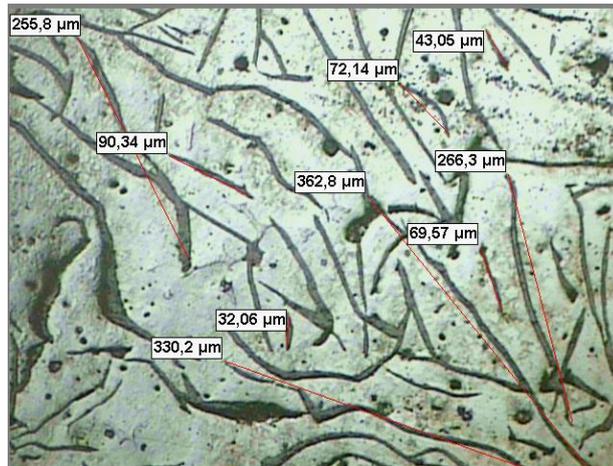
Statistics

GRAFITHE LENGHT

Minimum: 32,1 μm
 Maximum: 362,8 μm
 Mean: 169,1 μm

Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar
- ✓ Distribución de grafito: A
- ✓ Tamaño de grafito: 3
- ✓ Matriz: Ferrito-Perlítica



Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada sin precalentamiento 21°C, Zona Térmicamente Afectada, Nital 2, 3 Seg.

Componentes:

Grafito laminar en una matriz ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

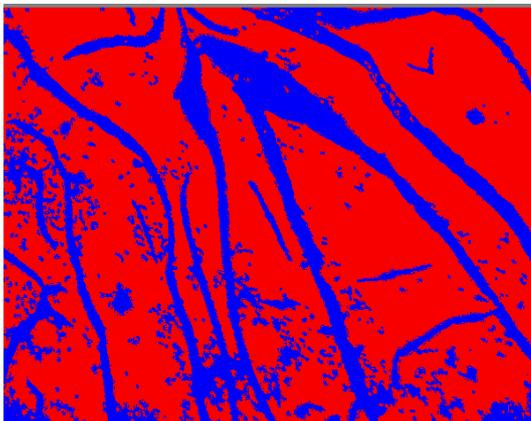
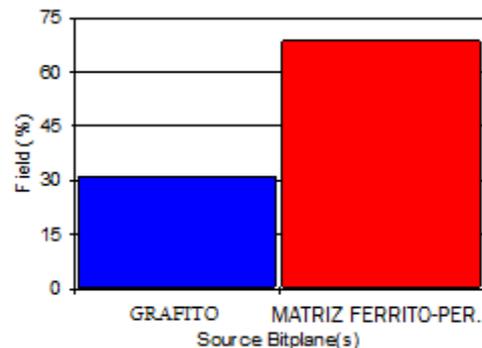


Imagen Binarizada, 200X



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	31,3
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	68,7

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 31,3 % de grafito laminar en un 68,7 % de una matriz perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A y su tamaño de grafito es N° 3.



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



ENSAYO METALOGRAFICO, METAL FUNDIDO

E.M. N°: 018

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

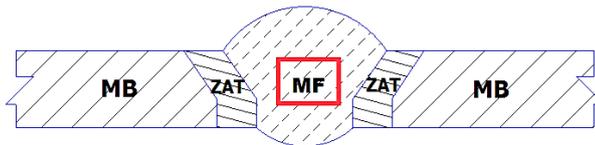
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	21°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Ambiente
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	18/03/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM E 407 -07, ASTM E
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:	6 Seg.	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

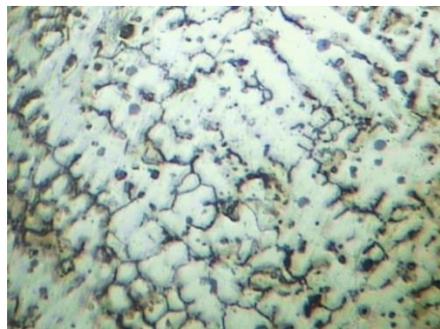


NOMENCLATURA

- MF:** Metal fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 100X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 6 Seg



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 200X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 6 Seg



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



**EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL
METAL FUNDIDO**

E. M. Nº 018

RESULTADOS UTILIZANDO SOFTWARE

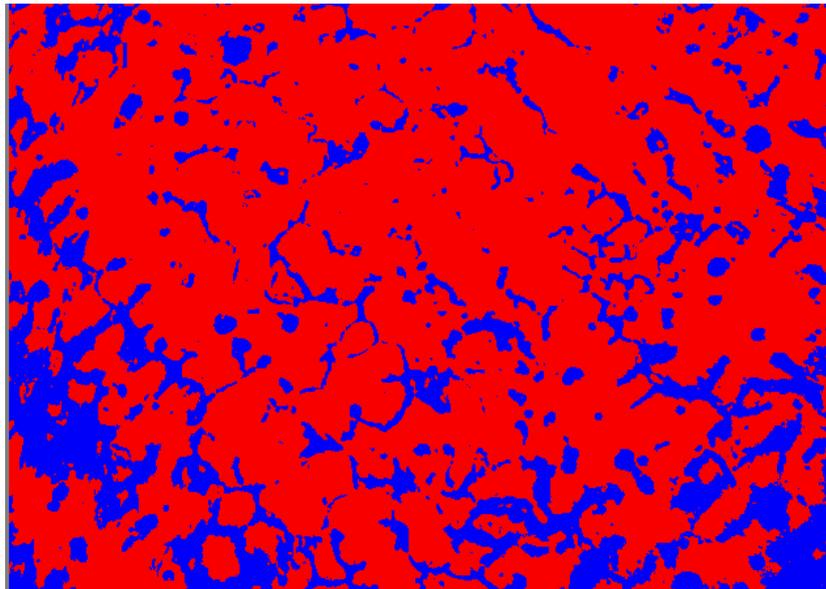
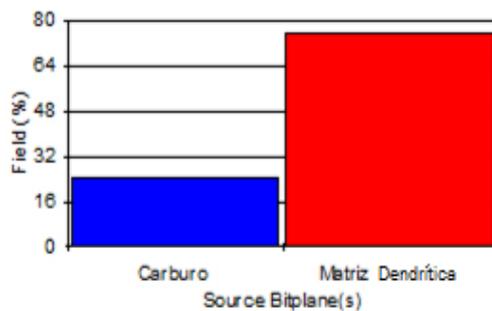


Imagen Binarizada, 200X
Soldadura sin precalentamiento 21 °C, Metal Fundido
(Cordón de soldadura)

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

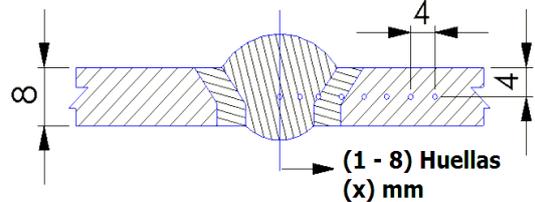
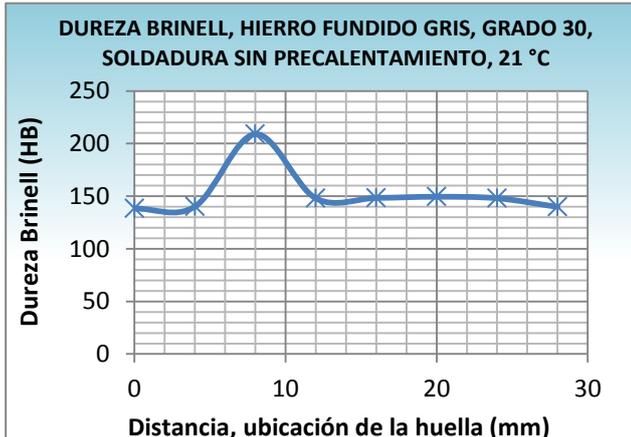


S. Bitplane(s)	Field (%)
Carburo	24,3
Matriz Dendrítica	75,7

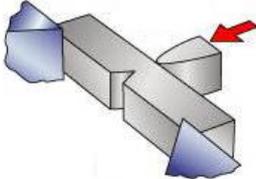
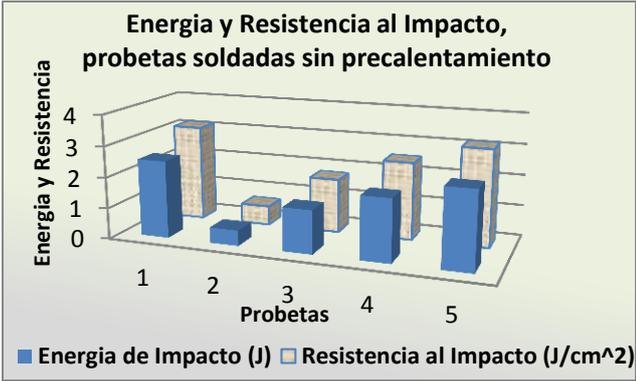
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

Los análisis presentan una estructura compuesta de carburo primario en un 24,3 % precipitada en una matriz dendrítica rica en níquel del 75.7 %.

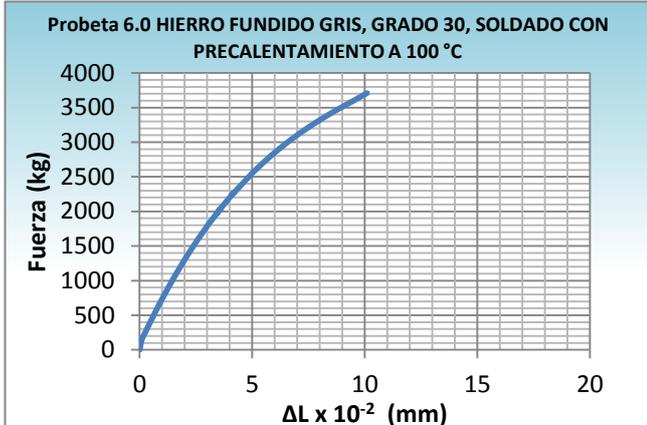
4.1.14.3 ENSAYO DE DUREZA DE LA JUNTA SOLDADA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 SIN PRECALENTAMIENTO

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO DE DUREZA			E.M. N°: 019	
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR				
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30	
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	21°	
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Ambiente	
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	01/04/201	
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”			
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Método:	Rockwell B	Normas de referencia	AWS B4.0, ASTM E 18	
Penetrador	Esfera de acero de 1/16" in			
Carga aplicada:	980 N	Tiempo de ensayo:	25 min	
RESULTADOS				
Huella N°	Zona de barrido	Dureza		<p>BARRIDO DE DUREZAS (mm)</p> 
		HRB	Brinell HB	
1	MA	80.4	138.2	
2	MA	81.1	140.1	
3	Intercara	98.2	209.0	
4	ZAT	84.0	148.0	
5	MB	84.1	148.3	
6	MB	84.5	149.4	
7	MB	84.0	148.0	
8	MB	81.0	139.8	
 <p>DUREZA BRINELL, HIERRO FUNDIDO GRIS, GRADO 30, SOLDADURA SIN PRECALENTAMIENTO, 21 °C</p>				
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS				
<p>Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la figura a través de un gráfico HB vs Distancia, donde se muestran los resultados de una probeta soldada sin precalentamiento a 21 °C, temperatura ambiente, la misma que alcanza una dureza máxima de 209 HB en la zona de la intercara de la soldadura y una dureza mínima de 138.2 HB en la zona del metal fundido.</p>				

**4.1.14.4 ENSAYO DE IMPACTO DE LA JUNTA SOLDADA DEL
HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 SIN
PRECALENTAMIENTO**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY			E.M. N°: 020		
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR					
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30		
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Denominación:	Níquel 100		
Tipo de Soldadura:	SMAW	T° de precalentamiento	21°		
N° de Probetas:	1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 - 5.0	Medio de precalentamiento	Ambiente		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	15/04/2013		
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”			
Dimensiones:	10 x 10 x 55 (mm)	Tipo de entalle	En V, 2 mm, 45°		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO CHARPY					
Normas de referencia:	ASTM, AWS, INEN	Designación:	ASTM-E 23, AWS B4.0, INEN 130		
Preparación de la probeta:	Fresado	Instrumento:	Péndulo de Ensayo Charpy		
RESULTADOS					
Probeta N°	Sección transversal de la probeta			Energía de Impacto	Resistencia al impacto
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	(Joule)	J/cm ²
1.0	0.755	0.960	0.725	2.5	3.125
2.0	0.790	0.980	0.774	0.5	0.625
3.0	0.770	0.980	0.755	1.4	1.75
4.0	0.730	0.960	0.701	2	2.5
5.0	0.770	0.950	0.732	2.5	3.125
Detalle de la probeta			Promedios:	1.780	2.225
					
					
Temperatura de ensayo:	21°	Tipo de fracturas:	Frágil		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
<p>Los resultados muestran en probetas soldadas sin precalentamiento a temperatura ambiente (21°), la energía de impacto promedio se encuentra en 1.780 Joule y tiene una resistencia al impacto promedio de 2.444 Joule/cm². Los valores mayor y menor de impacto son 2.5 J. y 0.5 J. respectivamente.</p>					

4.1.14.5 ENSAYO A TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 100°C, CON ELECTRODO E-NI-CI

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE TRACCIÓN		E.T. N°: 021	
DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	100 °C	N° de Probeta:	1.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	27/02/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas
RESULTADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.1 mm
Carga Máxima:	3708.1 kg	Deformación Max:	10.1 mm
GRAFICO FUERZA- ΔL			
 <p align="center"> Probeta 6.0 HIERRO FUNDIDO GRIS, GRADO 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 100 °C </p>			
Calculo del porcentaje de alargamiento: Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.1 - 50}{50} * 100 = 4.20 \%$			
Calculo Reducción porcentual del área: % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 285.345}{304} * 100\% = 6.13 \%$			
Calculo de la resistencia ultima a la tracción: $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3708.1 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 12.198 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 17,35 \text{ ksi}$			
OBSERVACIONES			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. Nº. 022

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	100 °C	Nº de Probeta:	2.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	27/02/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

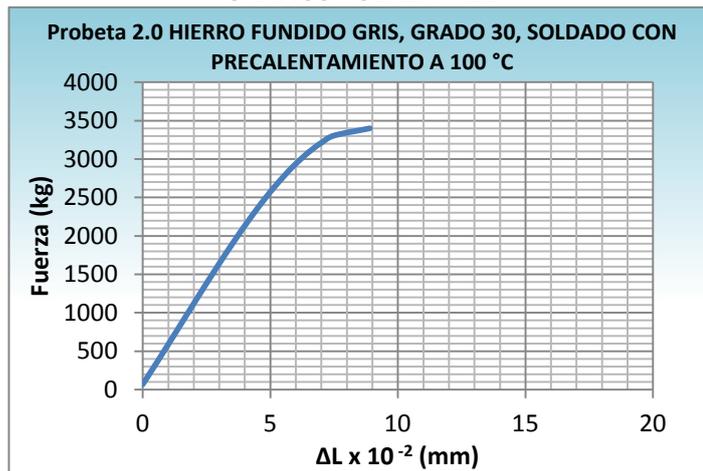
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.2 mm
Carga Máxima:	3407.7 kg	Deformación Max:	8.9 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.2 - 50}{50} * 100 = \mathbf{2.40\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 298.952}{304} * 100\% = \mathbf{1.66\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3407.7 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = \mathbf{11.210 \frac{kg}{mm^2} = 15,94 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. Nº: 023

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	100 °C	Nº de Probeta:	3.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	27/02/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

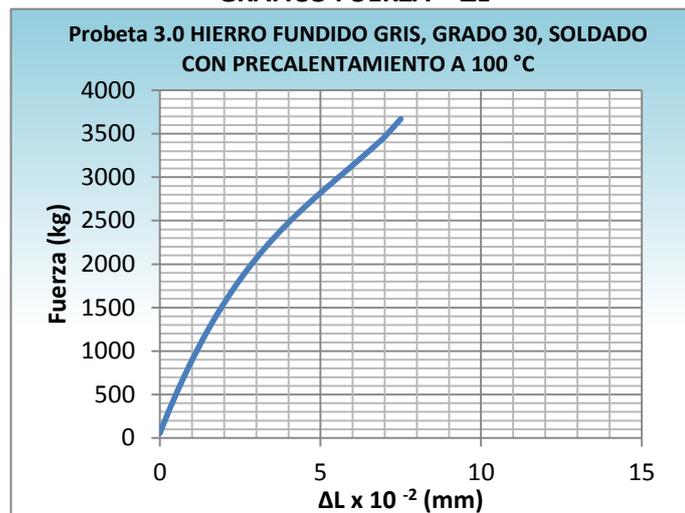
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.0 mm
Carga Máxima:	3670.3 kg	Deformación Max:	7.5 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51 - 50}{50} * 100 = \mathbf{2.0 \%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 297.123}{304} * 100\% = \mathbf{2.26 \%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3670.3 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 12.073 \frac{kg}{mm^2} = 17,17 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 024

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	100 °C	Nº de Probeta:	4.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	27/02/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

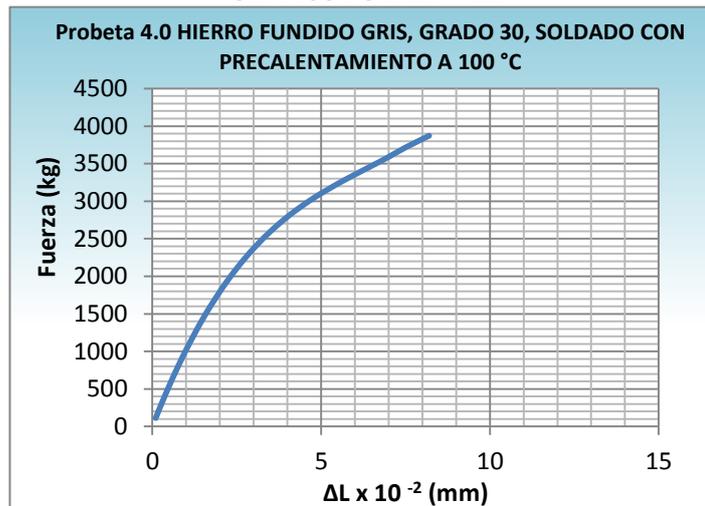
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.1 mm
Carga Máxima:	3872.2 kg	Deformación Max:	8.2 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.1 - 50}{50} * 100 = \mathbf{2.20 \%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 298.304}{304} * 100\% = \mathbf{1.87 \%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{\max}}{A_0} = \frac{3872.2 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 12.738 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 18,12 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 025

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	100 °C	Nº de Probeta:	5.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	27/02/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

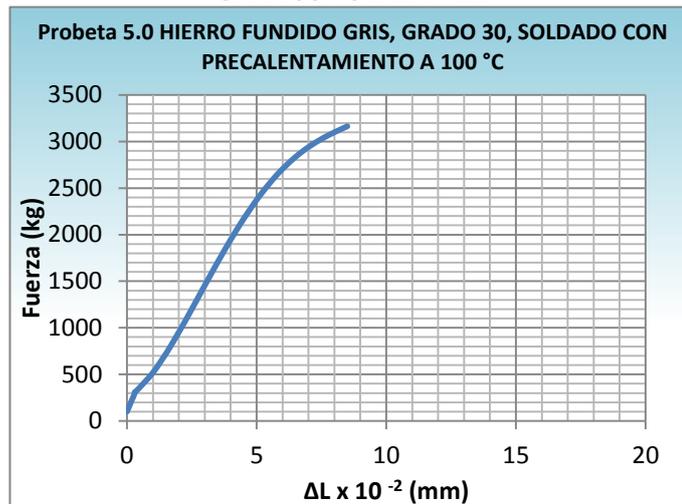
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.0 mm
Carga Máxima:	3363.4 kg	Deformación Max:	8.5 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



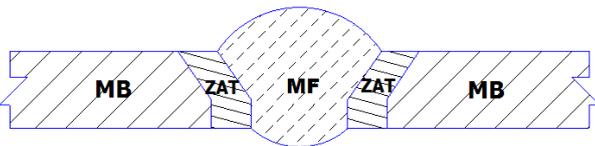
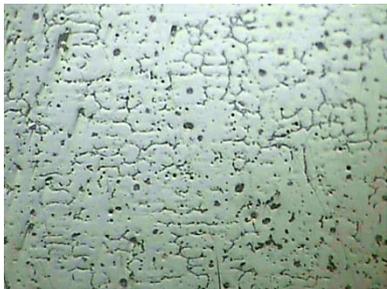
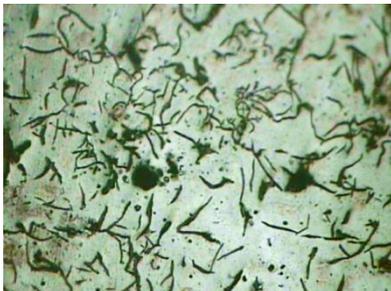
Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52 - 50}{50} * 100 = 4.0 \%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 $\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 290.675}{304} * 100\% = 4.38 \%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{3363.4 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 11.064 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 15,74 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES

4.1.14.6 ENSAYO METALOGRÁFICO DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 100°C, CON ELECTRODO E-Ni-CI.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRÁFICO			E.M. N°: 026
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	100 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	20/04/2013
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”	
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:		Nital 2, Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07	
Tiempo de ataque:		Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS			
Zonas metalúrgicas de la soldadura analizadas.			
		NOMENCLATURA: MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base	
			
MF		MB	
			
ZAT			
Junta soldada con precalentamiento a 100°C, 100X			



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



ENSAYO METALOGRAFICO, METAL BASE E.M. Nº: 027

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

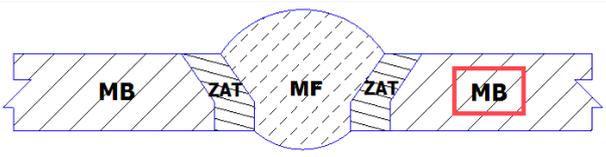
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	100 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	20/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	4Seg.	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.



NOMENCLATURA

- MF:** Metal Fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



METAL BASE 100X, Nital 2, 4 Seg.



METAL BASE 200X, Nital 2, 4 Seg.



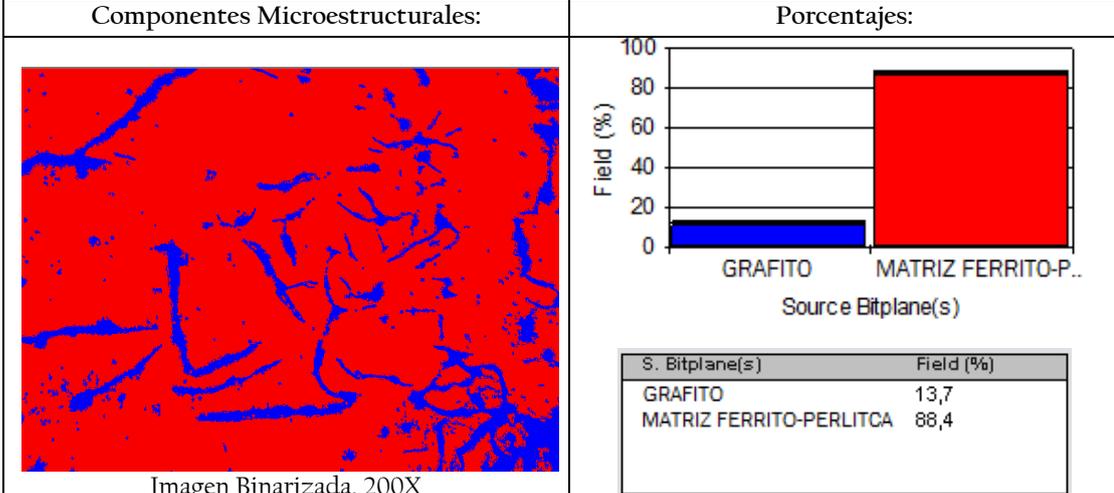
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE | E. M. N° 027

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO	MICROESTRUCTURA A 100X
RESULTADOS SOFTWARE	
<p>Statistics GRAFITHE LENGHT</p> <p>Minimum: 47,8 μm</p> <p>Maximum: 212,0 μm</p> <p>Mean: 107,7 μm</p> <p>Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fundición gris tipo: VII ✓ Forma de grafito: Laminar, ✓ Distribución de grafito: A ✓ Tamaño de grafito: 4 ✓ Matriz : Perlítica 	<p>Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 100° C, Material base, Nital 2, 4 Seg.</p>

Componentes: Grafito laminar en una matriz Ferrito-Perlítica



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 13,7 % de grafito laminar en un 88,4 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A y su tamaño de grafito es N° 4.



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



ENSAYO METALOGRAFICO, ZAT E.M. Nº: 028

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

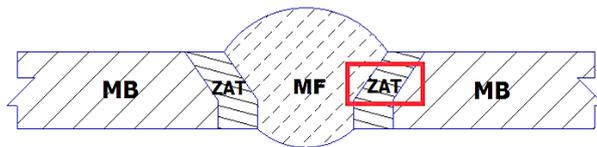
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	100°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	20/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	3 Seg	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.



NOMENCLATURA

- MF:** Metal fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 100X, NITAL 2, 3 SEG.



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 200X, NITAL 2, 3 SEG.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA ZAT

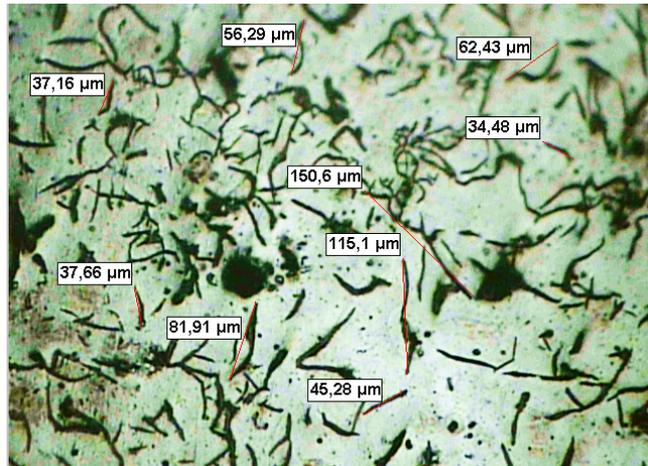
E. M. N° 028

DETERMINACIÓN DEL
TAMAÑO DE GRAFITO

MICROESTRUCTURA A 100X

RESULTADOS SOFTWARE

Statistics GRAFITHE LENGHT
 Minimum: 34,5 μm
 Maximum: 150,6 μm
 Mean: 69,0 μm



Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar,
- ✓ Distribución de grafito: A, B
- ✓ Tamaño de grafito: 4
- ✓ Matriz : Perlítica

Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con
 precalentamiento a 100° C, Zona térmicamente afectada,
 Nital 2, 4 Seg.

Componentes:

Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

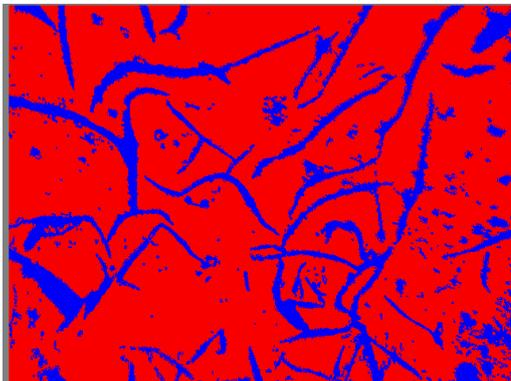
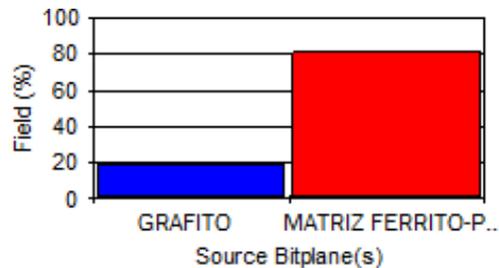


Imagen Binarizada, 200X



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	19,0
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	81,0

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 19 % de grafito laminar en un 81 % de una matriz ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A – B y su tamaño de grafito es N° 4.



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



ENSAYO METALOGRAFICO DEL METAL FUNDIDO

E.M. Nº: 029

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	100 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	20/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

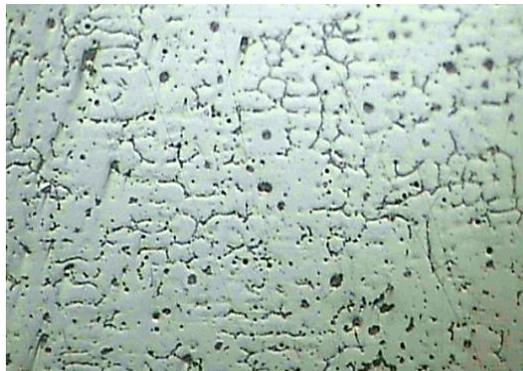
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:	33 min	Instrumento de observación	Microscopio

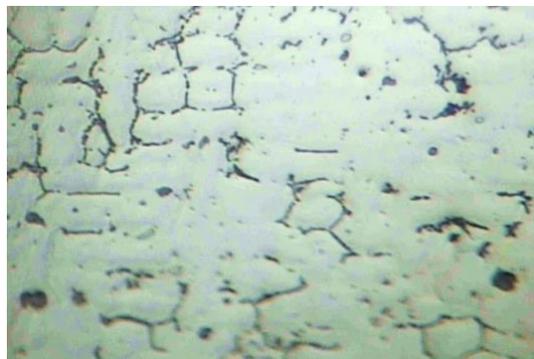
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

	<p>NOMENCLATURA</p> <p>MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base</p>
--	---



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 100X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 33 min.



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 200X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 33 min.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL
 METAL FUNDIDO

E. M. N° 029

RESULTADOS UTILIZANDO SOFTWARE

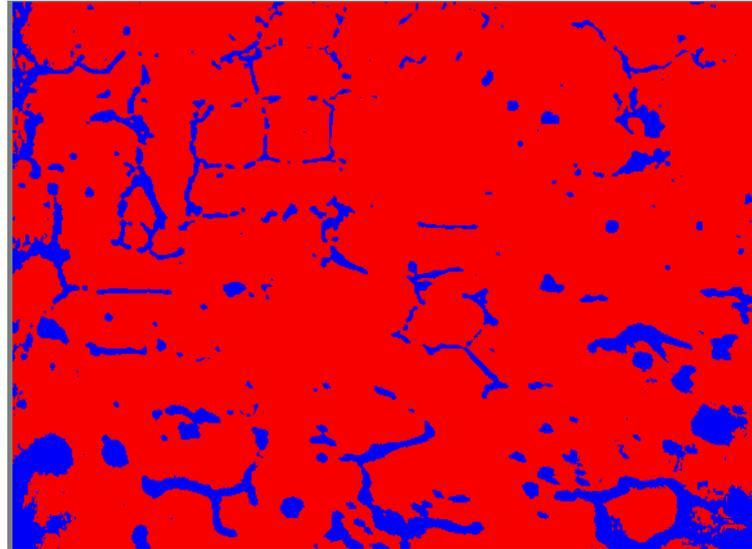
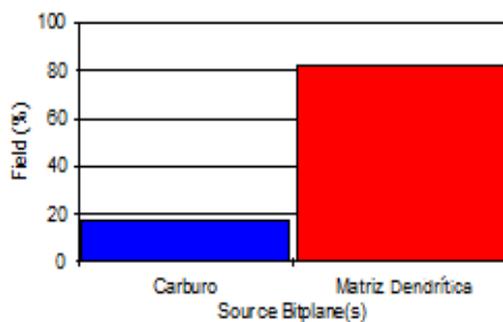


Imagen Binarizada, 200X
 Soldadura con precalentamiento a 100 °C, Metal Fundido
 (Cordón de soldadura), Reactivo Níquel – Cobre 38, 33 min.

Componentes: Carburo, en una matriz dendrítica de níquel.

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

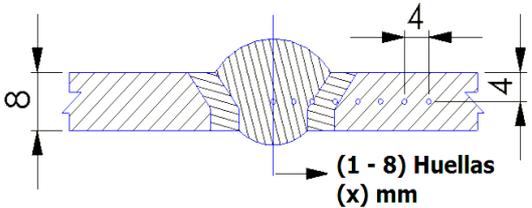
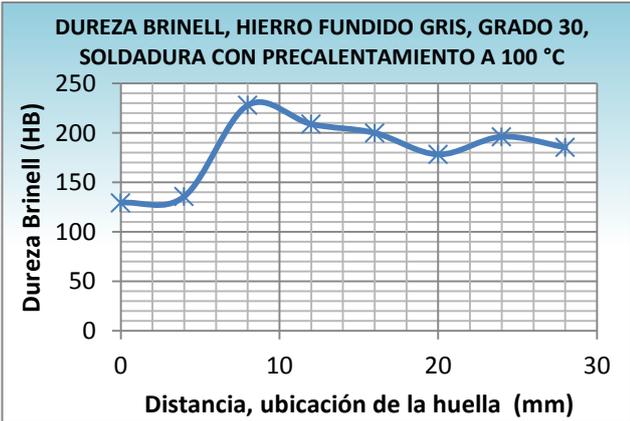


S. Bitplane(s)	Field (%)
Carburo	17,8 (17,7)
Matriz Dendrítica	82,3 (82,2)

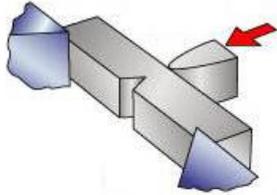
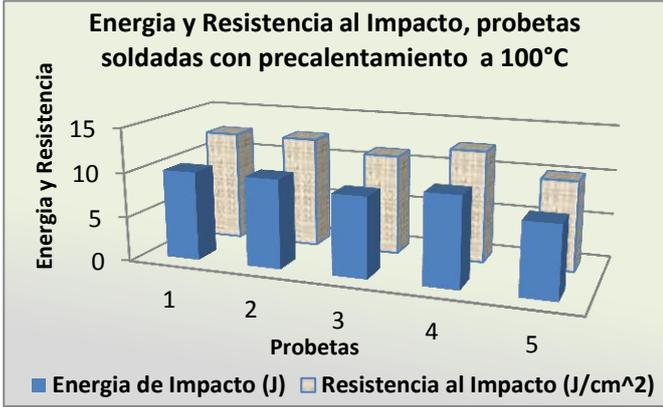
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

Los análisis presentan una estructura compuesta de carburo primario en un 17,8 % precipitada en una matriz dendrítica rica en níquel del 82,3 %.

4.1.14.7 ENSAYO DE DUREZA DE LA JUNTA SOLDADA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON PRECALENTAMIENTO A 100°C

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO DE DUREZA			E.M. N°: 030	
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR				
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30	
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	100°	
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno	
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	03/04/2013	
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"			
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Método:	Rockwell B, C	Normas de referencia	AWS B4.0, ASTM E 18	
Penetrador	Esfera de acero de 1/16" in			
Carga aplicada:	980 N	Tiempo de ensayo:	25 min	
RESULTADOS				
Huella N°	Zona de barrido	Dureza		<p>BARRIDO DE DUREZAS (mm)</p> 
		HRB HRC	Brinell HB	
1	MA	76.8 HRB	129.4	
2	MA	79.5 HRB	135.8	
3	Intercara	31.5 HRC	228.0	
4	ZAT	98.2 HRB	209.0	
5	MB	96.6 HRB	200.0	
6	MB	92.4 HRB	178.3	
7	MB	96.0 HRB	196.2	
8	MB	94.0 HRB	185.5	
 <p>DUREZA BRINELL, HIERRO FUNDIDO GRIS, GRADO 30, SOLDADURA CON PRECALENTAMIENTO A 100 °C</p>				
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS				
<p>Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la figura a través de un gráfico HB vs Distancia, donde se muestran los resultados de una probeta soldada con precalentamiento a 100 °C, la misma que alcanza una dureza máxima de 228 HB en la zona de la intercara de la soldadura y una dureza mínima de 129.4 HB en la zona del Metal Fundido.</p>				

**4.1.14.8 ENSAYO DE IMPACTO DE LA JUNTA SOLDADA DEL
HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON
PRECALENTAMIENTO A 100°C**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY			E.M. N°: 031		
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR					
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30		
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Denominación:	Níquel 100		
Tipo de Soldadura:	SMAW	T° de precalentamiento	100°		
N° de Probetas:	1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 - 5.0	Medio de precalentamiento	Horno		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	17/04/2013		
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"			
Dimensiones:	10 x 10 x 55 (mm)	Tipo de entalle	En V, 2 mm, 45°		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO CHARPY					
Normas de referencia:	ASTM, AWS, INEN	Designación:	ASTM-E 23, AWS B4.0, INEN 130		
Preparación de la probeta:	Fresado	Instrumento:	Péndulo de Ensayo Charpy		
RESULTADOS					
Probeta N°	Sección transversal de la probeta			Energía de Impacto (Joule)	Resistencia al impacto (J/cm ²)
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)		
1.0	0.790	0.995	0.786	10	12.5
2.0	0.780	0.970	0.757	10	12.5
3.0	0.750	0.955	0.716	9	11.25
4.0	0.778	0.930	0.724	10	12.5
5.0	0.760	0.973	0.739	8	10.0
Detalle de la probeta			Promedios:	9.40	11.75
					
					
Temperatura de ensayo:	21°	Tipo de fracturas:	Frágil		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
<p>Los resultados muestran que en una probeta soldada con precalentamiento en horno a (100°), la energía de impacto promedio se encuentra en 9.40 Joule y tiene una resistencia al impacto promedio de 12.629 Joule/cm². Los valores mayor y menor de impacto son 10 J. y 8 J. respectivamente.</p>					

4.1.14.9 ENSAYO A TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 200°C, CON ELECTRODO AWS E-Ni-CI

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE TRACCIÓN		E.T. N°: 032	
DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	200 °C	N° de Probeta:	1.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	01/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas
RESULTADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.9 mm
Carga Máxima:	4442.2 kg	Deformación Max:	10.3 mm
GRAFICO FUERZA - ΔL			
 <p align="center"> Probeta 1.0 HIERRO FUNDIDO GRIS, GRADO 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 200 °C </p>			
Calculo del porcentaje de alargamiento: Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.9 - 50}{50} * 100 = 3.80\%$			
Calculo Reducción porcentual del área: % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 292.563}{304} * 100\% = 3.76\%$			
Calculo de la resistencia ultima a la tracción: $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{4442.2 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 14.613 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 20,78 \text{ ksi}$			
OBSERVACIONES			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 033

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	200 °C	Nº de Probeta:	2.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	01/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

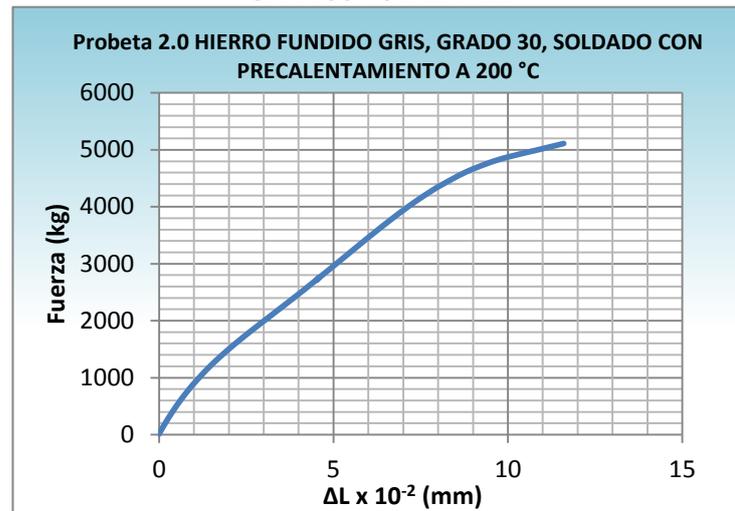
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.4 mm
Carga Máxima:	5110.9 kg	Deformación Max:	11.6 mm

GRAFICO FUERZA- ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.4 - 50}{50} * 100 = 2.80 \%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 % **reducción en área** = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 289.400}{304} * 100\% = 4.80 \%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5110.9 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 16.812 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 23,91 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 034

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	200 °C	Nº de Probeta:	3.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	01/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

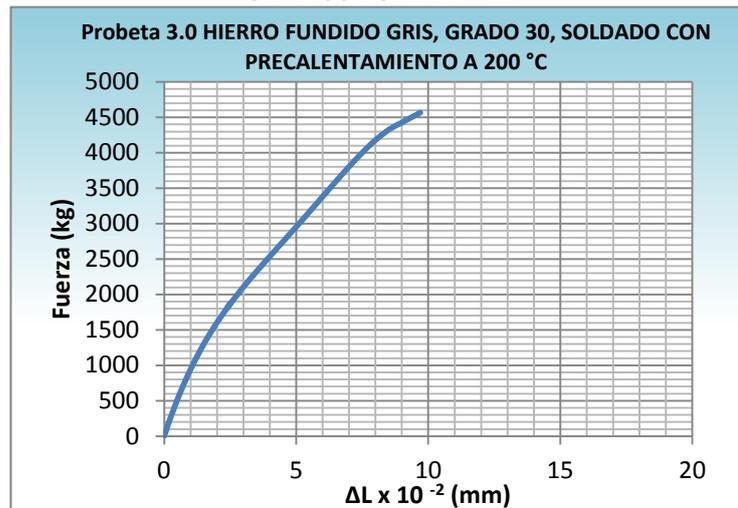
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.3 mm
Carga Máxima:	4567.4 kg	Deformación Max:	9.9 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.3 - 50}{50} * 100 = 2.60\%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 299.331}{304} * 100\% = 1.53\%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{4567.4 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 15.024 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 21,35 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN **E.T. Nº: 035**

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	200 °C	Nº de Probeta:	4.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	01/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

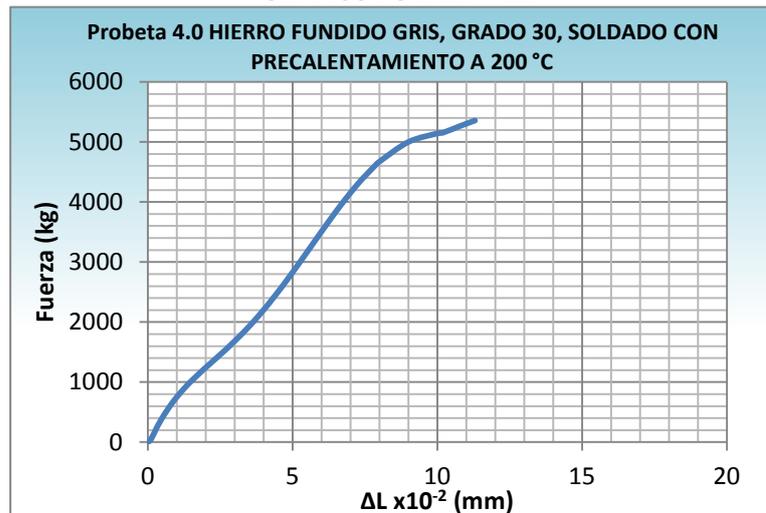
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.5 mm
Carga Máxima:	5356.8 kg	Deformación Max:	11.3 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.5 - 50}{50} * 100 = 3.00\%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 % **reducción en área** = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 288.635}{304} * 100\% = 5.05\%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5356.8 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 17.621 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 25.06 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 036

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	200 °C	Nº de Probeta:	5.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	01/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

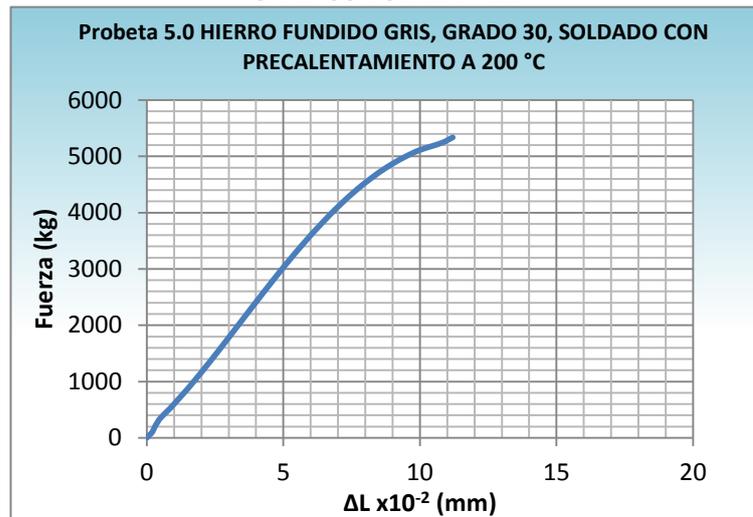
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.6 mm
Carga Máxima:	5337.6 kg	Deformación Max:	11.2 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



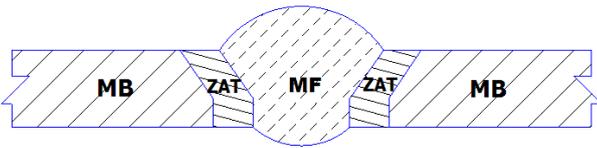
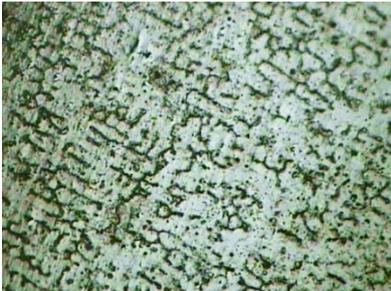
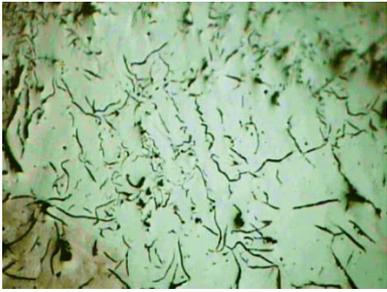
Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.6 - 50}{50} * 100 = 3.20 \%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 $\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 292.950}{304} * 100\% = 3.63 \%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5337.6 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 17.558 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 24,97 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES

4.1.14.10 ENSAYO METALGRÁFICO DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 200°C, CON ELECTRODO E-Ni-CI

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO METALGRÁFICO		E.M. N°: 037	
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	200 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	22/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2, Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:		Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS	Zonas metalúrgicas de la soldadura analizadas.		
	NOMENCLATURA: MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base		
 MF	 MB	 ZAT	
Junta soldada con precalentamiento a 200°C, 100X			



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



ENSAYO METALOGRAFICO, METAL BASE E.M. Nº: 038

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

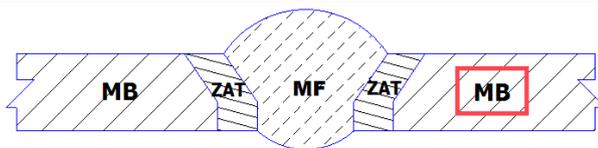
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	200 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	22/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	3Seg.	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

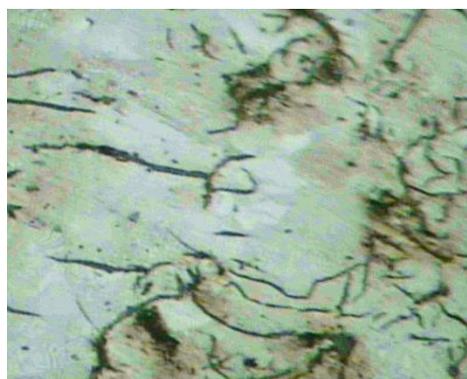


NOMENCLATURA

- MF:** Metal fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



METAL BASE 100X, NITAL 2, 3 Seg.



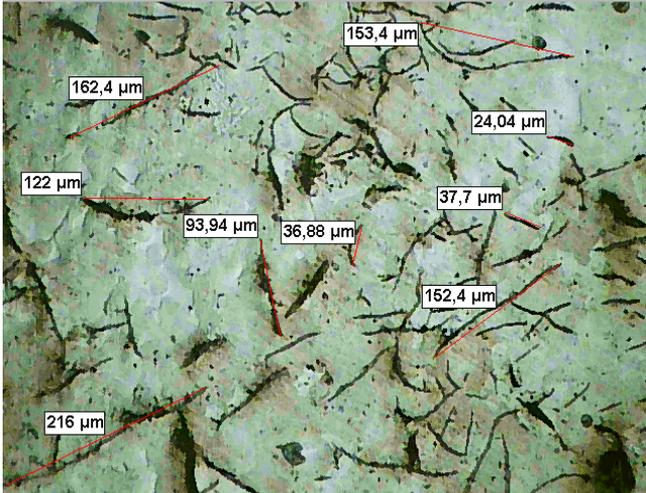
METAL BASE 200X, NITAL 2, 3 Seg.



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

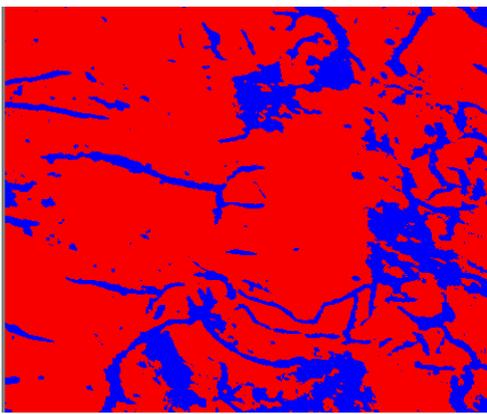
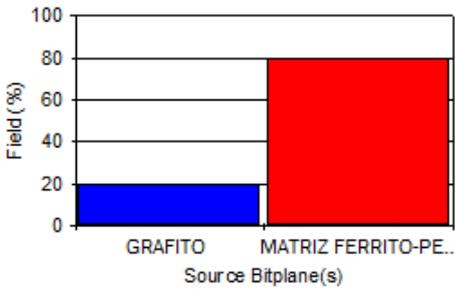


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE | E. M. N° 038

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO	MICROESTRUCTURA A 100X
RESULTADOS SOFTWARE	
<p>Statistics GRAFITHE LENGHT</p> <p>Minimum: 24,0 µm</p> <p>Maximum: 216,0 µm</p> <p>Mean: 111,0 µm</p>	
<p>Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fundición gris tipo: VII ✓ Forma de grafito: Laminar, ✓ Distribución de grafito: A,B ✓ Tamaño de grafito: 4 ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica 	

Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 200° C, Material base, Nital 2, 3 Seg.

Componentes: Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:	Porcentajes:						
 <p align="center">Imagen Binarizada, 200X</p>	 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRAFITO</td> <td>19,9</td> </tr> <tr> <td>MATRIZ FERRITO-PERLITICA</td> <td>80,1</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	GRAFITO	19,9	MATRIZ FERRITO-PERLITICA	80,1
S. Bitplane(s)	Field (%)						
GRAFITO	19,9						
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	80,1						

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 19,9 % de grafito laminar en un 80,1 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A – B y su tamaño de grafito es N° 4.



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



ENSAYO METALOGRAFICO, ZAT E.M. N°: 039

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

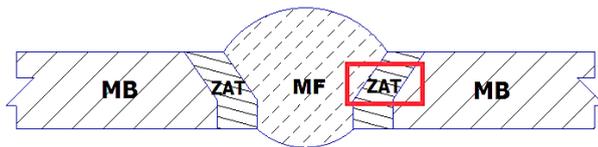
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	200 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	22/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	4 seg	Instrumento de observación	Microscopio

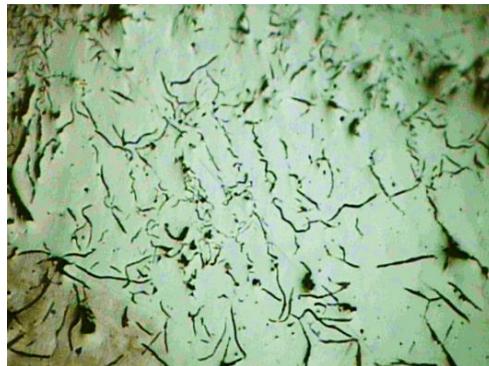
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

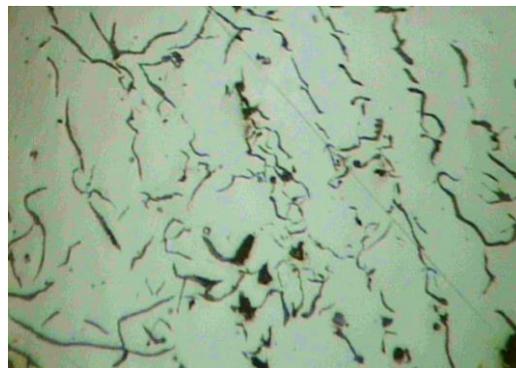


NOMENCLATURA

- MF:** Metal fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 100X, NITAL 2, 4 Seg.



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 200X, NITAL 2, 4 Seg.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA, ZAT

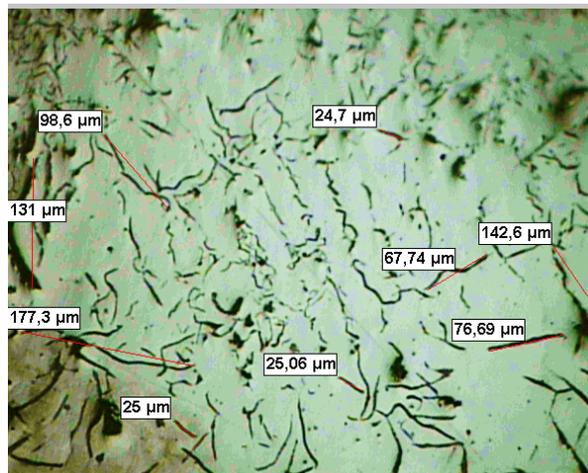
E. M. N° 040

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO

MICROESTRUCTURA

RESULTADOS SOFTWARE

Statistics GRAFITHE LENGHT
 Minimum: 24,7 μm
 Maximum: 177,3 μm
 Mean: 85,4 μm



Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar,
- ✓ Distribución de grafito: A, B
- ✓ Tamaño de grafito: 4
- ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica

Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 200° C, Zona térmicamente afectada, Nital 2, 3 Seg.

Componentes:

Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

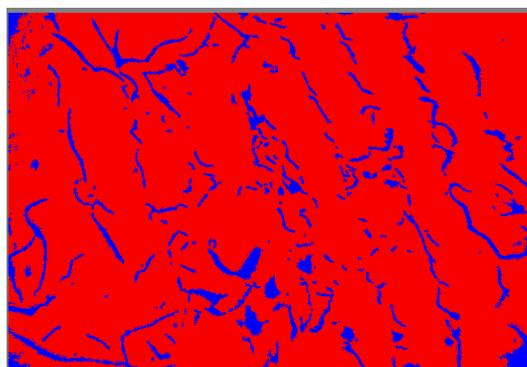
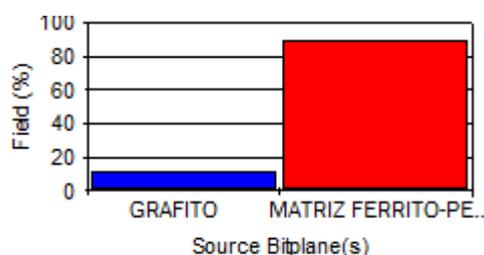


Imagen Binarizada, 200X



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	11,0
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	89,0

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 11 % de grafito laminar en un 89 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A – B y su tamaño de grafito es N° 4.



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



ENSAYO METALOGRÁFICO, METAL FUNDIDO			E.M. N°: 040
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	200 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	22/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:	10 Seg	Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS			
Zonas metalúrgicas analizadas.			
		NOMENCLATURA MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base	
Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 100X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 10 Seg.			
Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 200X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 10 Seg			



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL
 METAL FUNDIDO

E. M. N° 040

RESULTADOS UTILIZANDO SOFTWARE

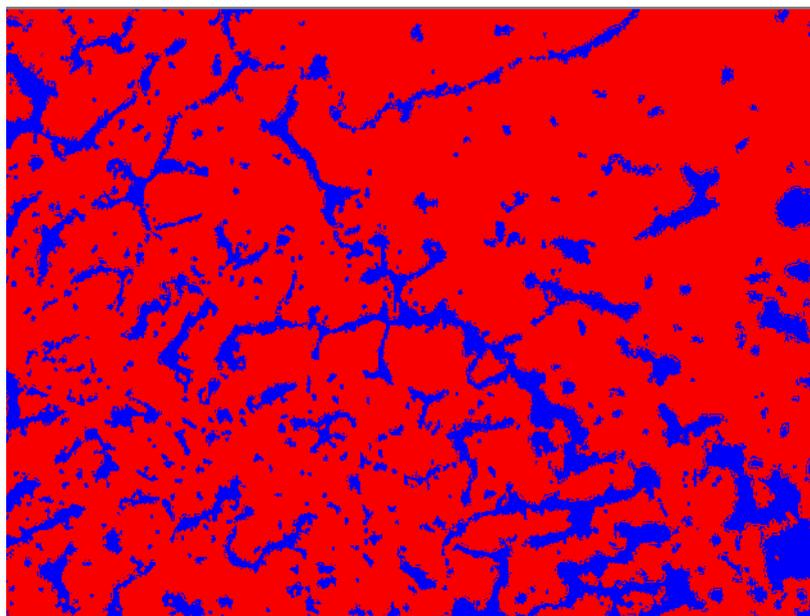
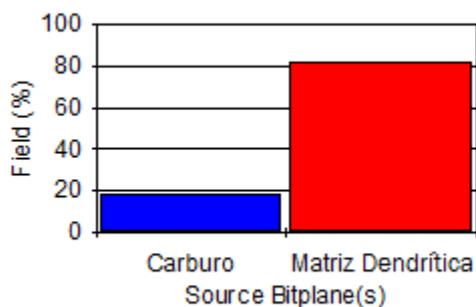


Imagen Binarizada, 200X
 Soldadura sin precalentamiento 200 °C, Metal Fundido
 (Cordón de soldadura)

Componentes: Carburo, en una matriz dendrítica de níquel.

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:



S. Bitplane(s)	Field (%)
Carburo	18,5
Matriz Dendrítica	81,5

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

Los análisis presentan una estructura compuesta de carburo primario en un 18,5 % precipitada en una matriz dendrítica rica en níquel del 81,5 %.

**4.1.14.11 ENSAYO DE DUREZA DE LA JUNTA SOLDADA DEL
HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON
PRECALENTAMIENTO A 200°C**

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

ENSAYO DE DUREZA		E.M. N°: 041	
-------------------------	--	--------------	--

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
---	--	--	--

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	200°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	05/04/2013
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”	
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

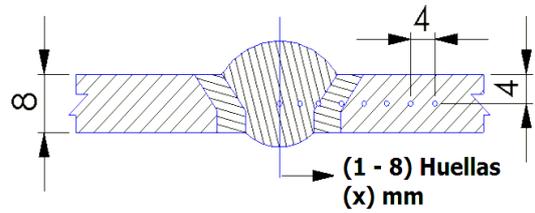
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
--	--	--	--

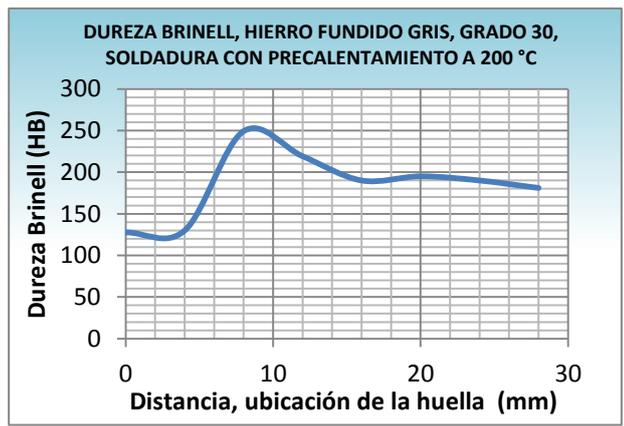
Método:	Rockwell B, C	Normas de referencia	AWS B4.0, ASTM E 18
Penetrador	Esfera de acero de 1/16" in		
Carga aplicada:	980 N	Tiempo de ensayo:	25 min

RESULTADOS			
-------------------	--	--	--

Huella N°	Zona de barrido	Dureza	
		HRB HRC	Brinell HB
1	MA	76.1 HRB	127.6
2	MA	77.0 HRB	129.8
3	Intercara	25.0 HRC	249.2
4	ZAT	100 HRB	219.1
5	MB	95.0 HRB	190.0
6	MB	95.8 HRB	195.0
7	MB	95.0 HRB	190.0
8	MB	93.0 HRB	181.0

DETALLE DE PROBETA (mm)

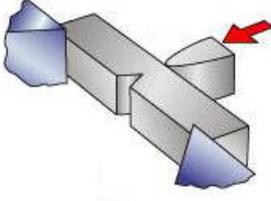
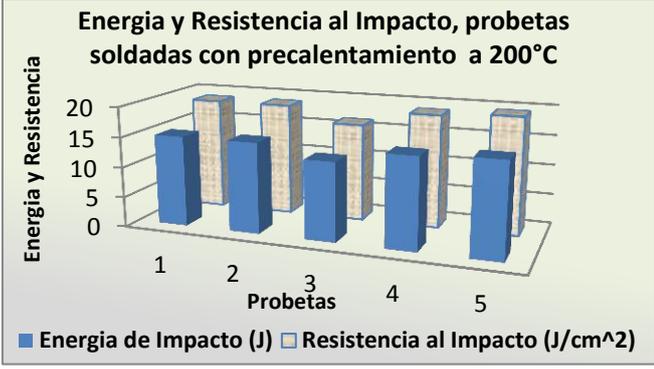




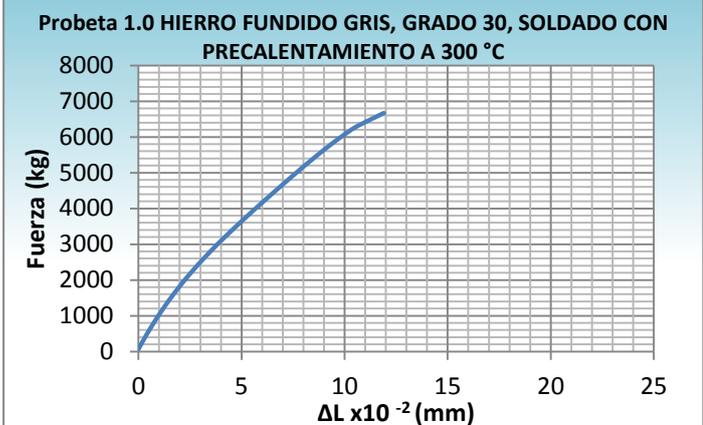
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la figura a través de un gráfico HB vs Distancia, donde se muestran los resultados de una probeta soldada con precalentamiento a 200 °C, la misma que alcanza una dureza máxima de 249.2 HB en la zona de la intercara de la soldadura y una dureza mínima de 127.6 HB en la zona del Metal Fundido.

**4.1.14.12 ENSAYO DE IMPACTO DE LA JUNTA SOLDADA DEL
HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON
PRECALENTAMIENTO A 200°C**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY				E.M. N°: 042	
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR					
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30		
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Denominación:	Níquel 100		
Tipo de Soldadura:	SMAW	T° de precalentamiento	200°		
N° de Probetas:	1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 -5.0	Medio de precalentamiento	Horno		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	19/04/2013		
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”				
Dimensiones:	10 x 10 x 55 (mm)	Tipo de entalle	En V, 2 mm, 45°		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO CHARPY					
Normas de referencia:	ASTM, AWS, INEN	Designación:	ASTM-E 23, AWS B4.0, INEN 130		
Preparación de la probeta:	Fresado	Instrumento:	Péndulo de Ensayo Charpy		
RESULTADOS					
Probeta N°	Sección transversal de la probeta			Energía de Impacto	Resistencia al impacto
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	(Joule)	J/cm ²
1.0	0.720	0.975	0.702	15	18.75
2.0	0.750	0.970	0.728	15	18.75
3.0	0.780	0.975	0.761	13	16.25
4.0	0.770	0.950	0.732	15	18.75
5.0	0.79	0.980	0.774	15.5	19.375
Detalle de la probeta			Promedios:	14.700	18.375
					
Probeta ensayada 					
Temperatura de ensayo:	21°	Tipo de fracturas:	Frágil		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
Los resultados muestran que en probetas soldadas con precalentamiento en horno a (200°), la energía de impacto promedio se encuentra en 14.70 Joule y tiene una resistencia al impacto promedio de 19.922 Joule/cm ² . Los valores mayor y menor de impacto son 15.5 J. Y 13 J. respectivamente.					

4.1.14.13 ENSAYO A TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 300°C, CON ELECTRODO E-NI-CI.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE TRACCIÓN		E.T. Nº: 043	
DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	300 °C	Nº de Probeta:	1.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas
RESULTADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.8 mm
Carga Máxima:	6667.1 kg	Deformación Max:	11.9 mm
GRAFICO FUERZA - ΔL			
 <p align="center">Probeta 1.0 HIERRO FUNDIDO GRIS, GRADO 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 300 °C</p>			
Calculo del porcentaje de alargamiento: Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.8 - 50}{50} * 100 = 3.60 \%$			
Calculo Reducción porcentual del área: % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 281.960}{304} * 100\% = 7.25 \%$			
Calculo de la resistencia ultima a la tracción: $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6667.1 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 21.931 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 31,20 \text{ ksi}$			
OBSERVACIONES			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 044

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	300 °C	Nº de Probeta:	2.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

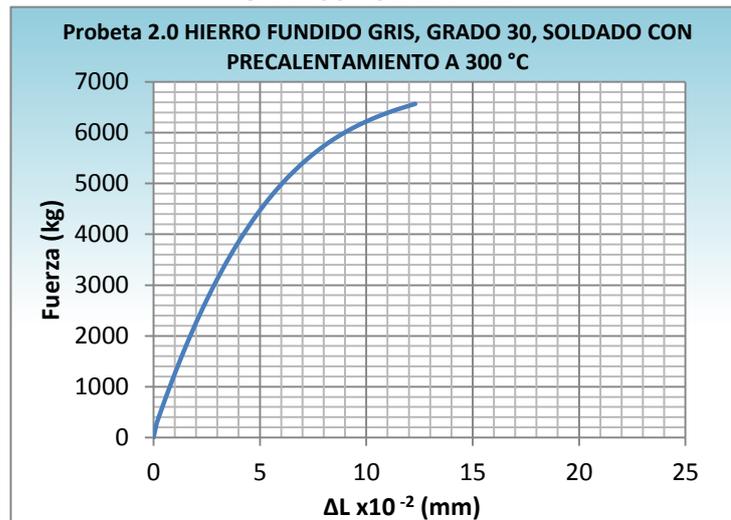
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.3 mm
Carga Máxima:	6695.6 kg	Deformación Max:	12.3 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.3 - 50}{50} * 100 = 4.60 \%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 $\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 276.020}{304} * 100\% = 9.20 \%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6695.6 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 22.025 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 31,33 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 045

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	300 °C	Nº de Probeta:	3.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

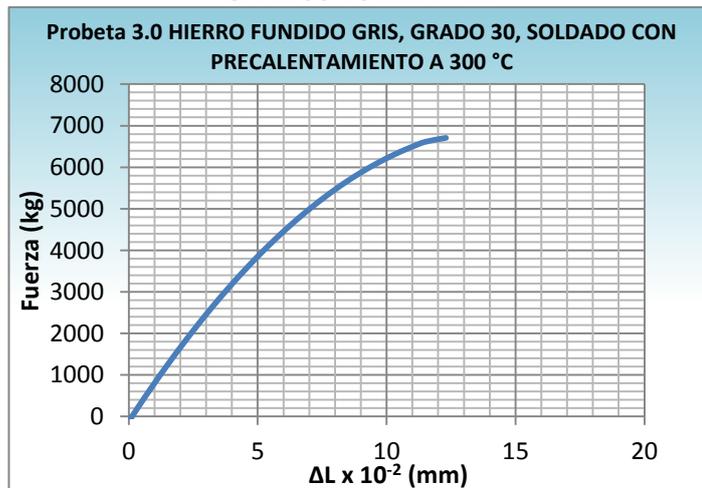
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8m, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.7 mm
Carga Máxima:	6706.9 kg	Deformación Max:	12.3 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.7 - 50}{50} * 100 = 3.40\%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 $\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 278.240}{304} * 100\% = 8.47\%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6706.9 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 22.062 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 31,38 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 046

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	300 °C	Nº de Probeta:	4.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

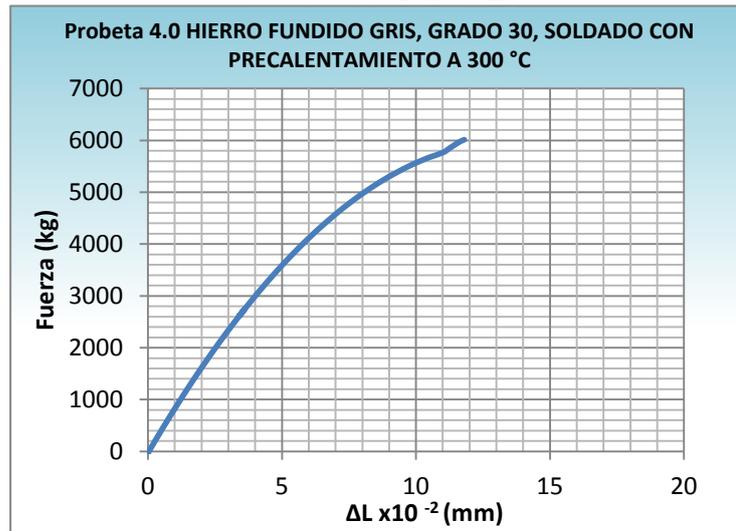
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.1 mm
Carga Máxima:	6013.4 kg	Deformación Max:	11.8 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.1 - 50}{50} * 100 = 4.20 \%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 $\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 291.060}{304} * 100\% = 4.25 \%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6013.4 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 19.781 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 28,14 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 047

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	300 °C	Nº de Probeta:	5.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

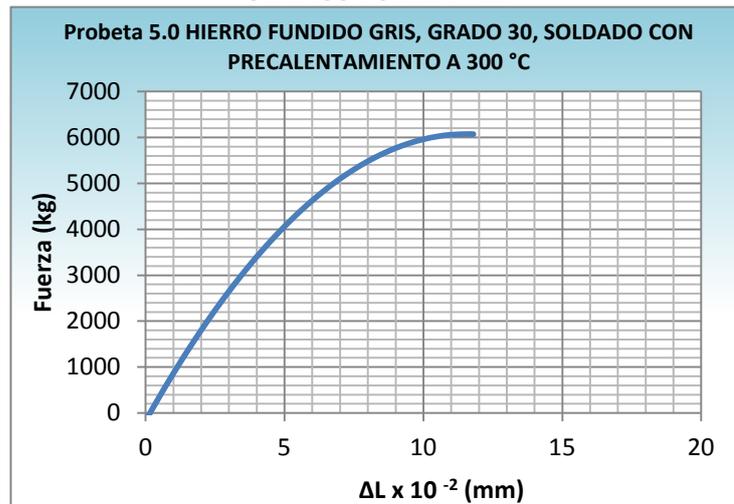
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.3 mm
Carga Máxima:	6072 kg	Deformación Max:	11.8 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.3 - 50}{50} * 100 = \mathbf{4.60\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

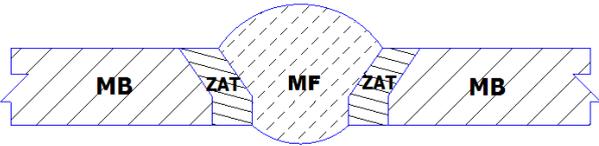
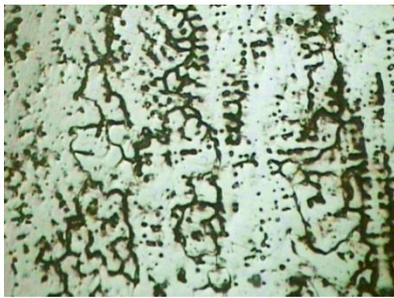
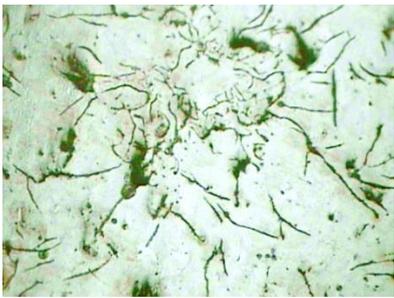
$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 289.520}{304} * 100\% = \mathbf{4.76\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6072 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 19.974 \frac{kg}{mm^2} = 28,41 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES

4.1.14.14 ENSAYO METALGRÁFICO DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 300°C, CON ELECTRODO E-Ni-CI.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALGRÁFICO			E.M. Nº: 048
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	300 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	24/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2, Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:		Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS			
Zonas metalúrgicas de la soldadura analizadas.			
		NOMENCLATURA MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base	
			
MF		MB	
			
ZAT			
Junta soldada sin precalentamiento, 300 °C, 100X			



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



ENSAYO METALOGRÁFICO, METAL BASE E.M. Nº: 049

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	300 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	24/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

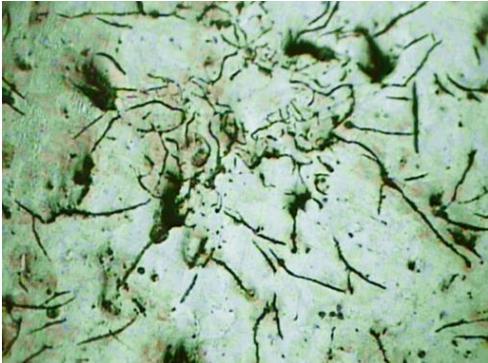
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	5 Seg.	Instrumento de observación	Microscopio

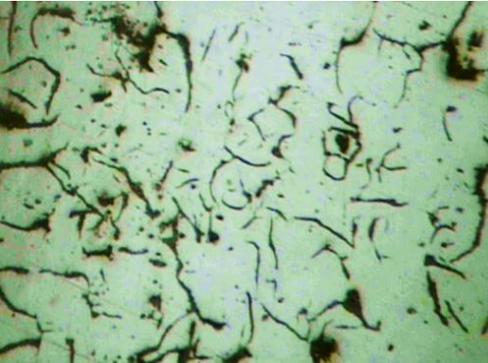
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

	<p>NOMENCLATURA</p> <p>MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base</p>
--	---



METAL BASE 100X, NITAL 2, 5 SEG.



METAL BASE 200X, NITAL 2, 5 SEG.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE

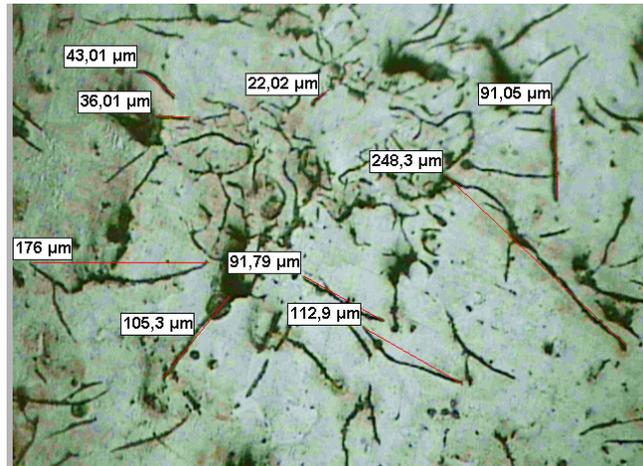
E. M. N° 049

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO

MICROESTRUCTURA A 100X

RESULTADOS SOFTWARE

Statistics GRAFITHE LENGHT
 Minimum: 22,02 μm
 Maximum: 248,3 μm
 Mean: 102,9 μm



Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar,
- ✓ Distribución de grafito: A, B
- ✓ Tamaño de grafito: 4-3
- ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica

Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 300° C, Material base, Nital 2, 5 Seg.

Componentes:

Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

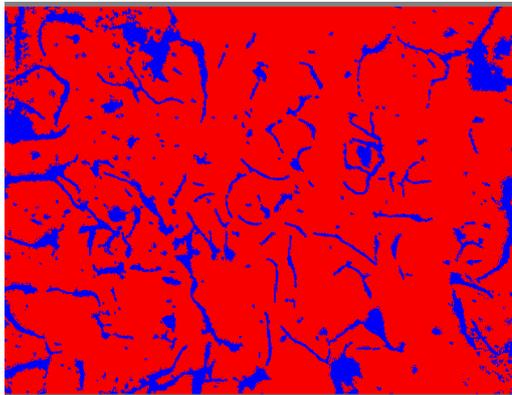
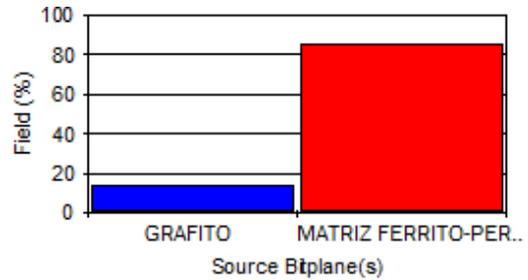


Imagen Binarizada, 200X



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	14,6
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	85,4

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 14,6 % de grafito laminar en un 85,4 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A - B y su tamaño de grafito es N° 4 - 3.



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



ENSAYO METALOGRAFICO, ZAT E.M. Nº: 050

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	300 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	24/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	4 Seg	Instrumento de observación	Microscopio

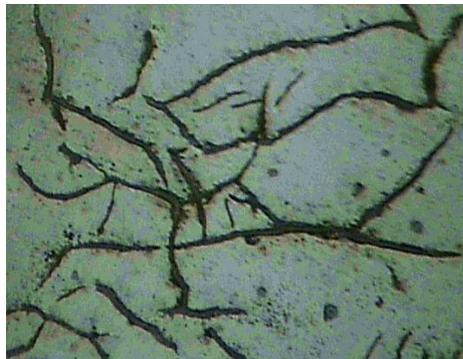
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

	<p>NOMENCLATURA</p> <p>MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base</p>
--	---



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 100X, NITAL 2, 4 SEG.



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 200X, NITAL 2, 4 SEG.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ZAT

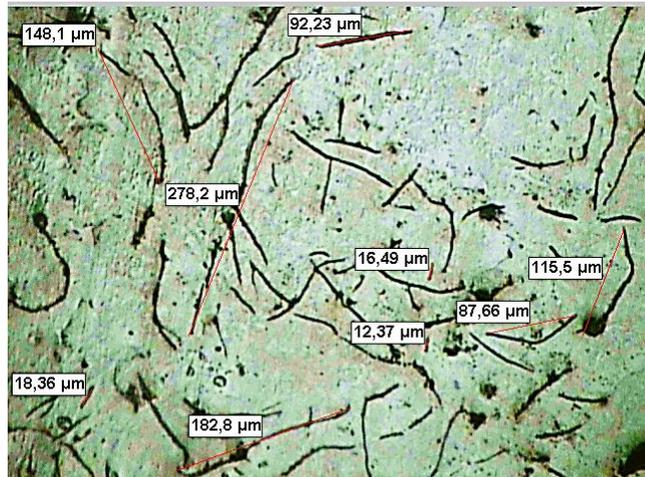
E. M. N° 050

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO

MICROESTRUCTURA A 100X

RESULTADOS SOFTWARE

Statistics GRAFITHE LENGHT
 Minimum: 12,4 μm
 Maximum: 278,2 μm
 Mean: 105,8 μm



Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar,
- ✓ Distribución de grafito: A,
- ✓ Tamaño de grafito: 3
- ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica

Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 300° C, Zona térmicamente afectada, Nital 2, 4 Seg.

Componentes:

Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

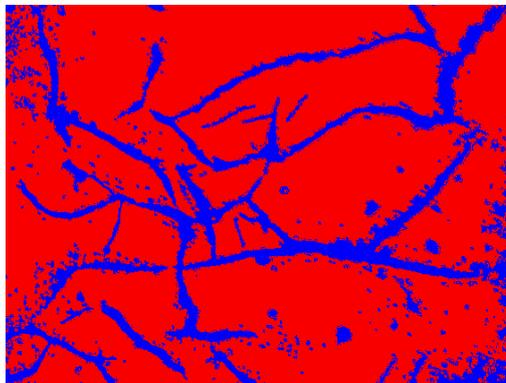
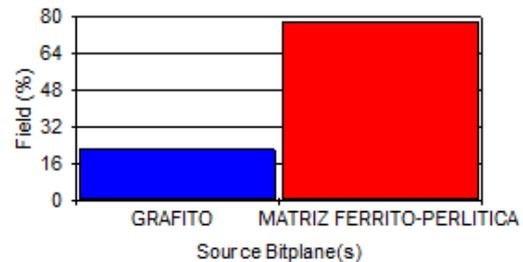


Imagen Binarizada, 200X



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	22,4
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	77,6

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 22,4 % de grafito laminar en un 77,6 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A y su tamaño de grafito es N° 3.



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



ENSAYO METALOGRÁFICO, METAL FUNDIDO E.M. N°: 051

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	300 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	24/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:	1.5 min	Instrumento de observación	Microscopio

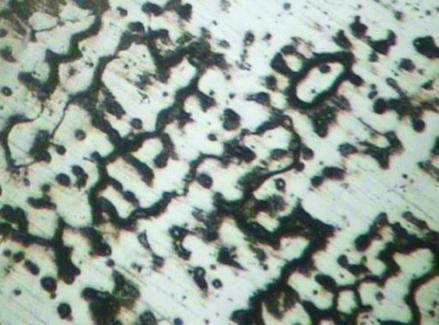
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

	<p>NOMENCLATURA</p> <p>MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base</p>
--	---



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 100X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 1.5 min.



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 200X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 1.5 min.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL
 METAL FUNDIDO

E. M. Nº 051

RESULTADOS UTILIZANDO SOFTWARE

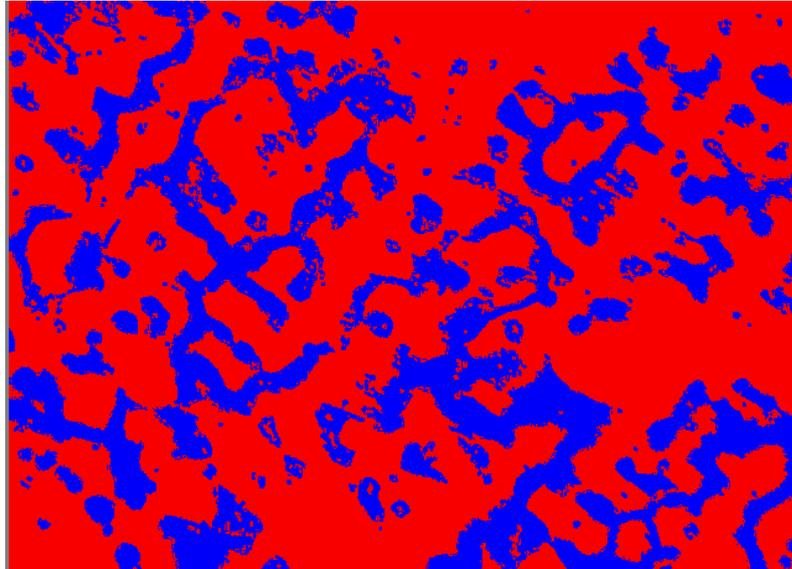
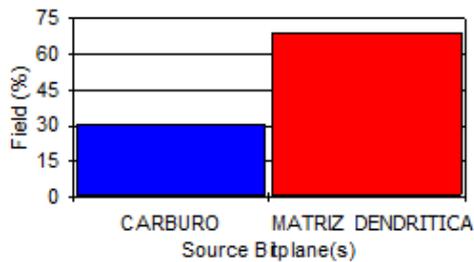


Imagen Binarizada, 200X
 Soldadura con precalentamiento a 300 °C, Metal Fundido
 (Cordón de soldadura), Reactivo Níquel – Cobre, 1.5 min.

Componentes: Carburo, en una matriz dendrítica de níquel.

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:



S. Bitplane(s)	Field (%)
CARBURO	30,9
MATRIZ DENDRITICA	69,1

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

Los análisis presentan una estructura compuesta de carburo primario en un 30,9 % precipitada en una matriz dendrítica rica en níquel del 69,1 %.

4.1.14.15 ENSAYO DE DUREZA DE LA JUNTA SOLDADA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON PRECALENTAMIENTO A 300°C

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

ENSAYO DE DUREZA	E.M. N°: 052
------------------	--------------

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
--	--	--	--

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	300°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	08/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

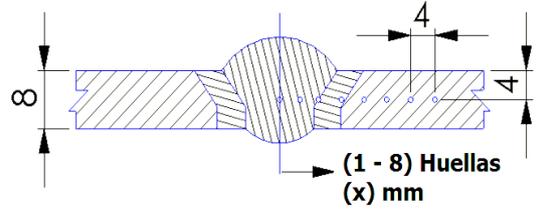
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
---------------------------------	--	--	--

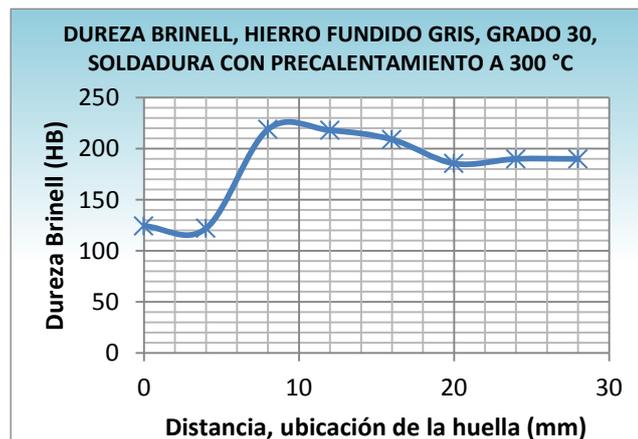
Método:	Rockwell B	Normas de referencia	AWS B4.0, ASTM E 18
Penetrador	Esfera de acero de 1/16" in		
Carga aplicada:	980 N	Tiempo de ensayo:	25 min

RESULTADOS			
------------	--	--	--

Huella N°	Zona de barrido	Dureza	
		HRB	Brinell HB
1	MA	74.5	124.2
2	MA	73.5	121.9
3	Intercara	100	219
4	ZAT	99.8	218
5	MB	98.2	209
6	MB	94	185.5
7	MB	95	190
8	MB	95	190

BARRIDO DE DUREZAS (mm)

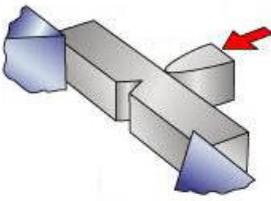
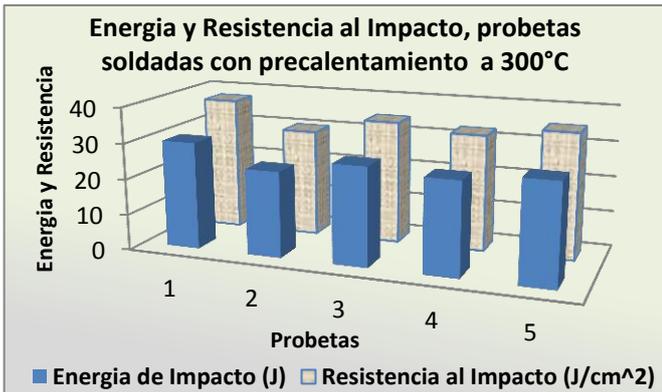




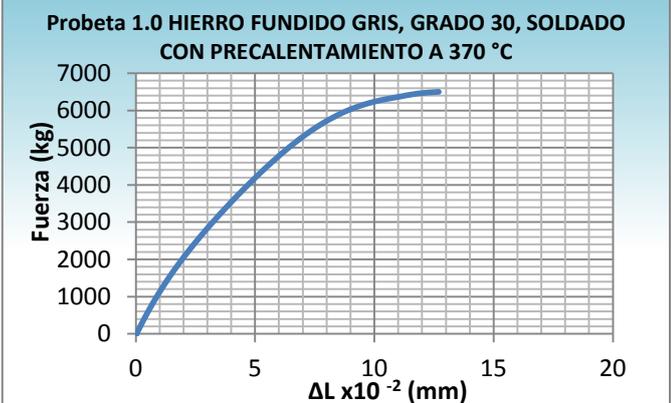
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la figura a través de un gráfico HB vs Distancia, donde se muestran los resultados de una probeta soldada con precalentamiento a 300 °C, la misma que alcanza una dureza máxima de 219 HB en la zona de la intercara de la soldadura y una dureza mínima de 121.9 HB en la zona del Metal Fundido.

**4.1.14.16 ENSAYO DE IMPACTO DE LA JUNTA SOLDADA DEL
HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON
PRECALENTAMIENTO A 300°C**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY			E.M. N°: 053		
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR					
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30		
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Denominación:	Niquel 100		
Tipo de Soldadura:	SMAW	T° de precalentamiento	300°		
N° de Probetas:	1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 - 5.0	Medio de precalentamiento	Horno		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	22/04/2013		
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"			
Dimensiones:	10 x 10 x 55 (mm)	Tipo de entalle	En V, 2 mm, 45°		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO CHARPY					
Normas de referencia:	ASTM, AWS, INEN	Designación:	ASTM-E 23, AWS B4.0, INEN 130		
Preparación de la probeta:	Fresado	Instrumento:	Péndulo de Ensayo Charpy		
RESULTADOS					
Probeta N°	Sección transversal de la probeta			Energía de Impacto	Resistencia al impacto
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	(Joule)	J/cm ²
1.0	0.775	0.990	0.767	30	37.5
2.0	0.765	0.980	0.750	24	30
3.0	0.730	0.998	0.729	27.5	34.375
4.0	0.800	0.970	0.776	26	32.5
5.0	0.775	0.975	0.756	28	35
Detalle de la probeta			Promedios:	27.1	33.875
 Probeta ensayada			 Energía y Resistencia al Impacto, probetas soldadas con precalentamiento a 300°C		
					
Temperatura de ensayo:	21°	Tipo de fracturas:	Frágil		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
Los resultados muestran que en una probeta soldada con precalentamiento en horno a (300°), la energía de impacto promedio se encuentra en 27.1 Joule y tiene una resistencia al impacto promedio de 35.884 Joule/cm ² . Los valores mayor y menor de impacto son 30 J. y 24 J. respectivamente.					

4.1.14.17 ENSAYO A TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 370°C, CON ELECTRODO E-Ni-CI.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE TRACCIÓN		E.T. Nº: 054	
DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	370 °C	Nº de Probeta:	1.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	03/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas
RESULTADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.9 mm
Carga Máxima:	6500.8 kg	Deformación Max:	12.7 mm
GRAFICO FUERZA - ΔL			
			
Calculo del porcentaje de alargamiento: Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.9 - 50}{50} * 100 = 3.80\%$			
Calculo Reducción porcentual del área: % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 275.280}{304} * 100\% = 9.44\%$			
Calculo de la resistencia ultima a la tracción: $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6500.8 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 21.384 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 30,42 \text{ ksi}$			
OBSERVACIONES			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 055

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	370 °C	Nº de Probeta:	2.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	03/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

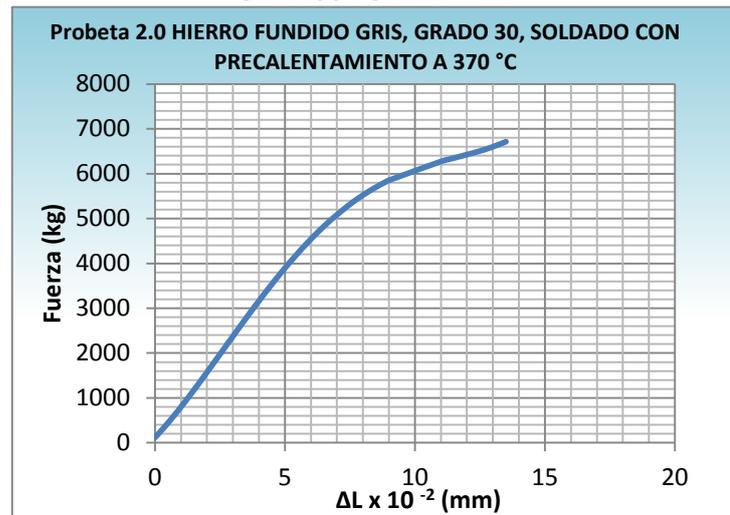
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50,8 mm	Longitud final:	52.5 mm
Carga Máxima:	6712.3 kg	Deformación Max:	13.5 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.5 - 50}{50} * 100 = 5.00\%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 % **reducción en área** = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 283.480}{304} * 100\% = 6.75\%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6712.3 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 22.080 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 31,41 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 056

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	370 °C	Nº de Probeta:	3.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	03/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

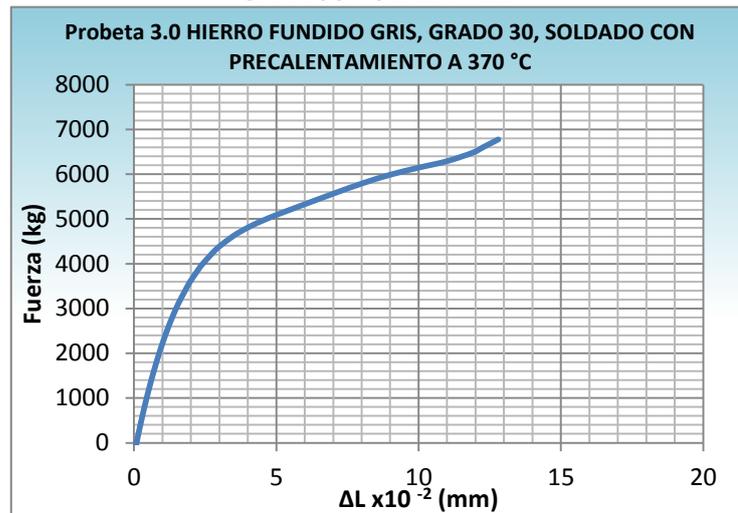
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.2 mm
Carga Máxima:	6775.4 kg	Deformación Max:	12.9 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.2 - 50}{50} * 100 = 2.75 \%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 % **reducción en área** = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 286.825}{304} * 100\% = 5.65 \%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6775.4 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 22.288 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 31,70 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 057

DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	370 °C	Nº de Probeta:	4.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	03/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

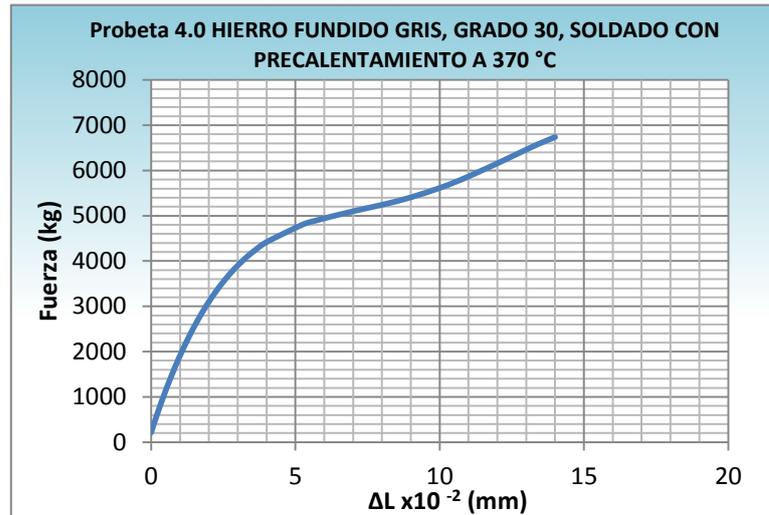
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.4 mm
Carga Máxima:	6737.4 kg	Deformación Max:	13.8 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.4 - 50}{50} * 100 = 4.80\%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 % **reducción en área** = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 279.750}{304} * 100\% = 7.97\%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6737.4 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 22.163 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 31,53 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 058

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	370 °C	Nº de Probeta:	5.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	03/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

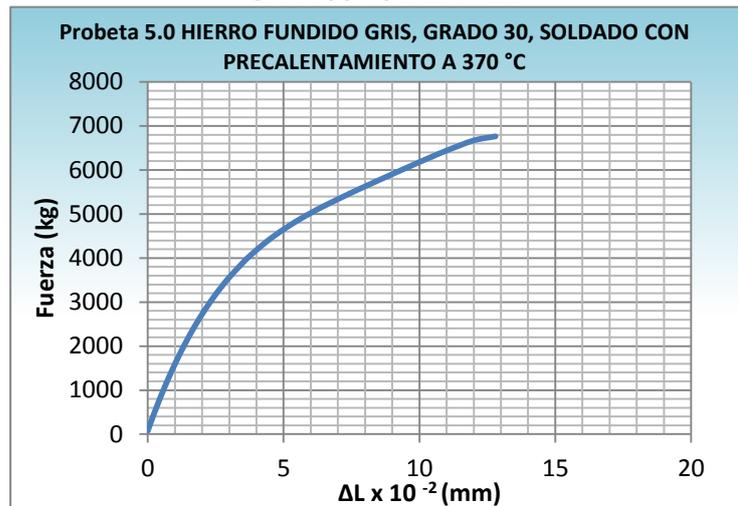
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.3 mm
Carga Máxima:	6763.1 kg	Deformación Max:	12.8 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.3 - 50}{50} * 100 = \mathbf{4.60\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

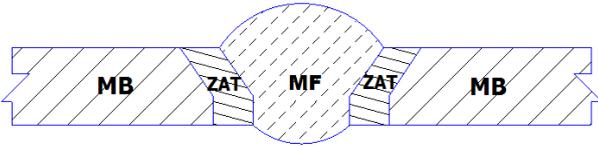
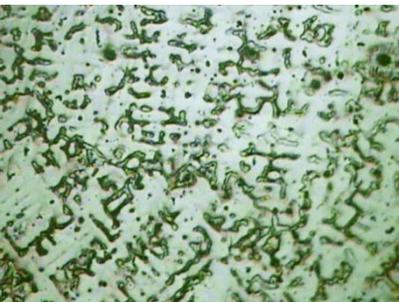
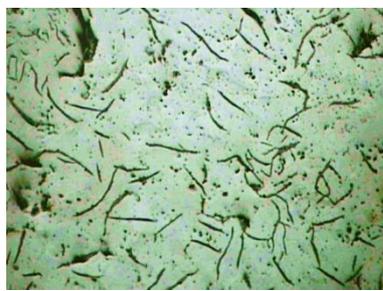
$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 291.720}{304} * 100\% = \mathbf{4.03\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6763.1 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut} = 22.247 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = \mathbf{31,65 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES

4.1.14.18 ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 370°C, CON ELECTRODO E-Ni-CI.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO			E.M. N°: 059
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento:	370 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento:	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	26/04/2013
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”	
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:		Nital 2, Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07	
Tiempo de ataque:		Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS			
Zonas metalúrgicas de la soldadura analizadas.			
		NOMENCLATURA MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base	
			
MF		MB	
			
ZAT			
Junta soldada con precalentamiento a 370 °C, 100X			



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



ENSAYO METALOGRAFICO, METAL BASE

E.M. Nº: 060

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

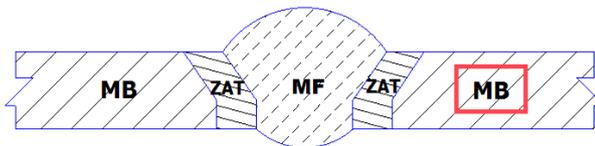
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	370 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Ambiente
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	26/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	5 Seg.	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

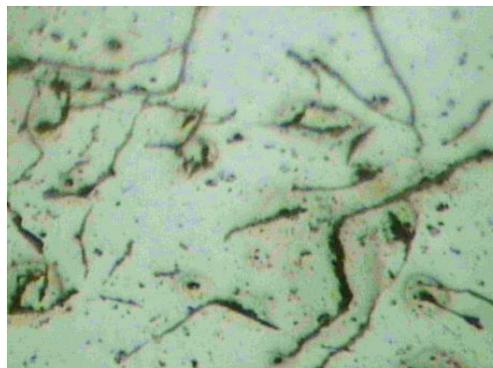


NOMENCLATURA

- MF:** Metal fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



METAL BASE 100X, NITAL 2, 5 SEG.



METAL BASE 200X, NITAL 2, 5 SEG.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE | E. M. N° 060

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO	MICROESTRUCTURA A 100X
--	-------------------------------

RESULTADOS SOFTWARE

Statistics	GRAFITHE LENGHT
Minimum:	26,5 µm
Maximum:	99,0 µm
Mean:	63.6 µm

Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

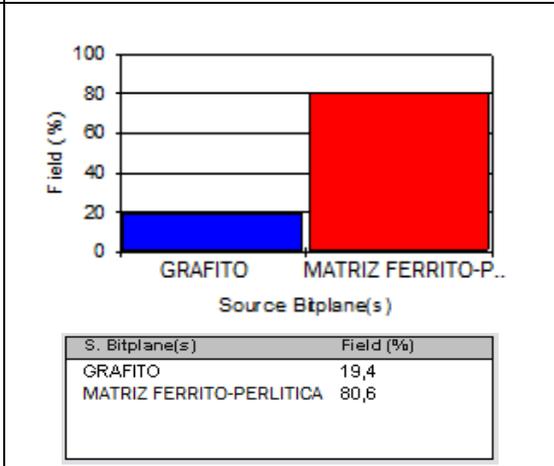
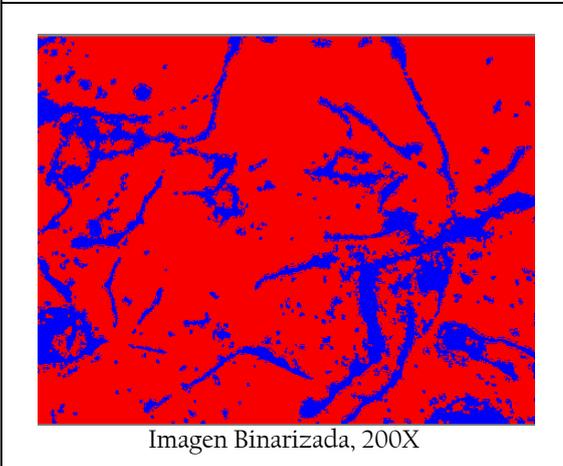
- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar,
- ✓ Distribución de grafito: A - B
- ✓ Tamaño de grafito: 4 - 5
- ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica

Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 370° C, Material base, Nital 2, 5 Seg.

Componentes:	Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica
---------------------	---

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 19,6 % de grafito laminar en un 80,6 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A - B y su tamaño de grafito es N° 4 - 5.



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



ENSAYO METALOGRAFICO, ZAT E.M. N°: 061

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

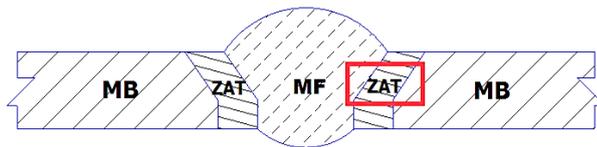
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	370 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	26/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	4 seg	Instrumento de observación	Microscopio

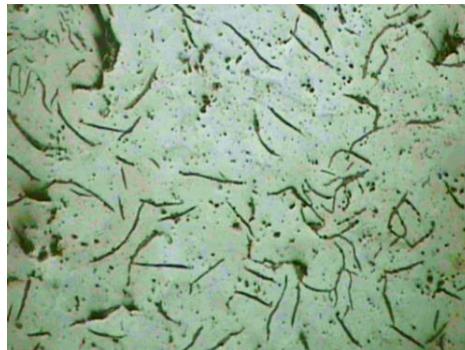
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.



NOMENCLATURA

- MF:** Metal fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 100X, NITAL 2, 4 SEG.



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 200X, NITAL 2, 4 SEG.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ZAT

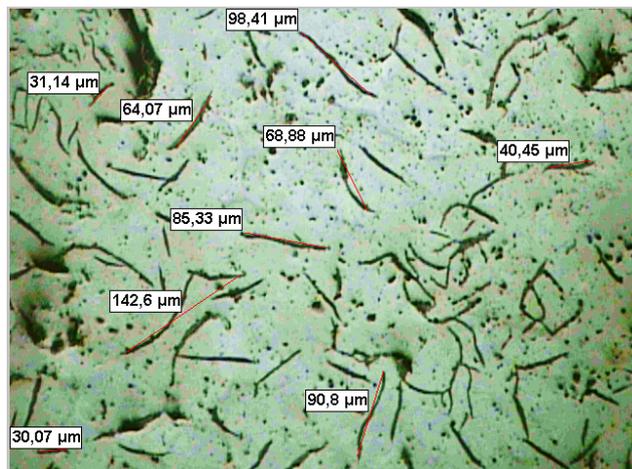
E. M. N° 061

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO

MICROESTRUCTURA A 100X

RESULTADOS SOFTWARE

Statistics GRAFITHE LENGHT
 Minimum: 30,1 μm
 Maximum: 142,6 μm
 Mean: 72,4 μm



Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 370° C, Zona térmicamente afectada, Nital 2, 4 Seg.

Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar,
- ✓ Distribución de grafito: A
- ✓ Tamaño de grafito: 4
- ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica

Componentes:

Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

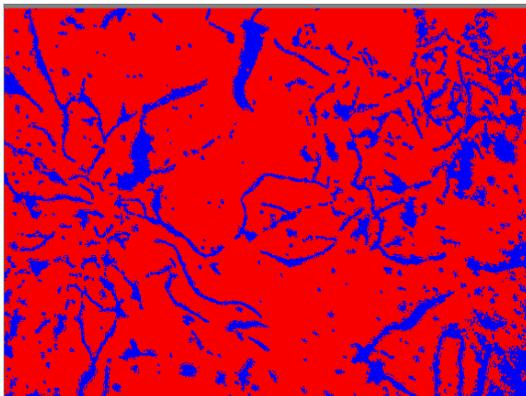
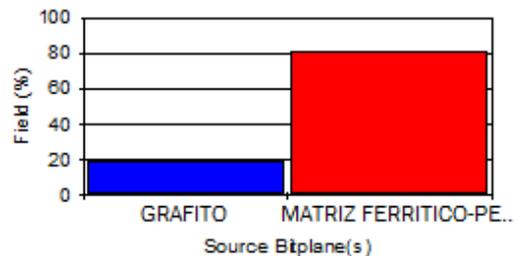


Imagen Binarizada, 200X



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	18,9
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	81,1

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 18,9 % de grafito laminar en un 81,1 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar con agrupaciones en forma de rosetas, la distribución del grafito que presenta es de tipo A y su tamaño de grafito es N° 4.



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



ENSAYO METALOGRÁFICO, METAL FUNDIDO

E.M. Nº: 062

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	370 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	26/04/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

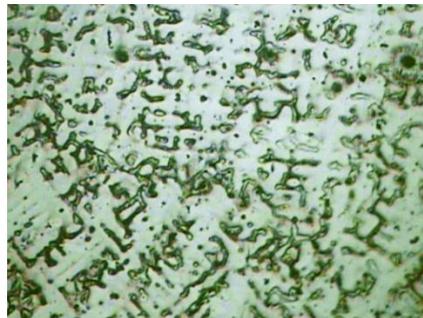
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:	8 Seg	Instrumento de observación	Microscopio

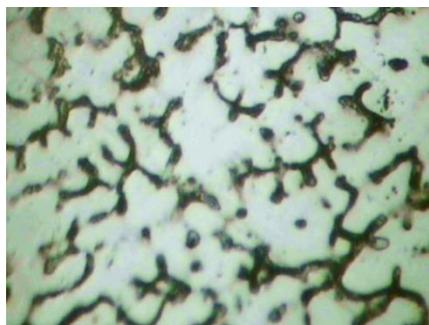
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

	<p>NOMENCLATURA</p> <p>MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base</p>
--	---



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 100X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 8 Seg.



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 200X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 8 Seg.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL
 METAL FUNDIDO

E. M. Nº 062

RESULTADOS UTILIZANDO SOFTWARE

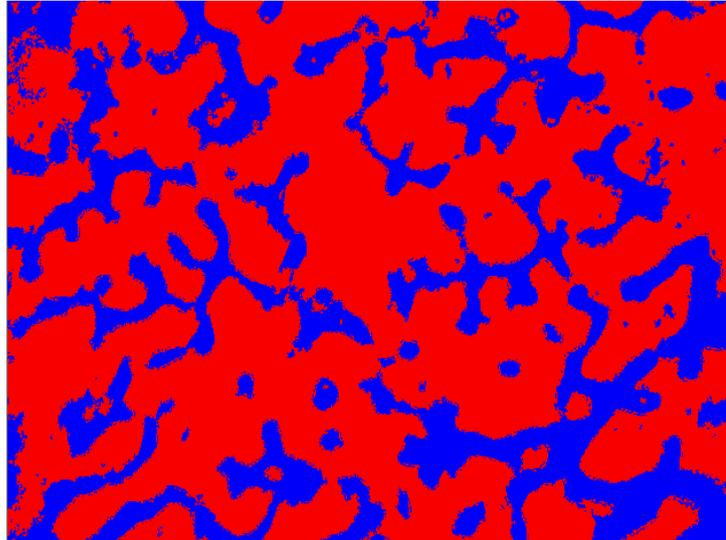
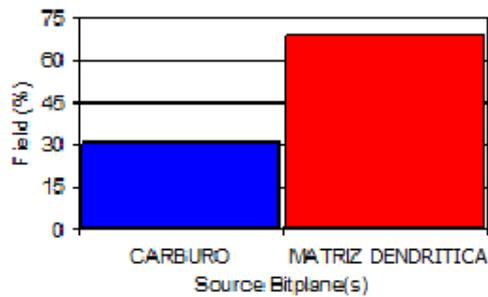


Imagen Binarizada, 200X
 Soldadura con precalentamiento 370 °C, Metal Fundido
 (Cordón de soldadura), Reactivo Níquel - Cobre 38, 8 Seg.

Componentes: Carburo, en una matriz dendrítica de níquel.

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:



S. Bitplane(s)	Field (%)
CARBURO	31,0
MATRIZ DENDRITICA	69,0

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

Los análisis presentan una estructura compuesta de carburo primario en un 31 % precipitada en una matriz dendrítica rica en níquel del 69 %.

4.1.14.19 ENSAYO DE DUREZA DE LA JUNTA SOLDADA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON PRECALENTAMIENTO A 370°C

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

ENSAYO DE DUREZA		E.M. N°: 063	
-------------------------	--	--------------	--

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
---	--	--	--

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	370°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	26/04/2013
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”	
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

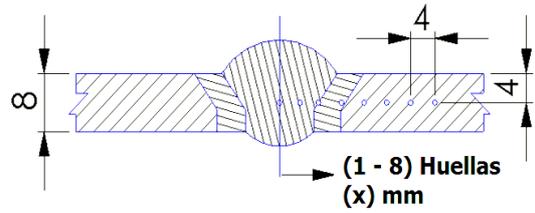
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
--	--	--	--

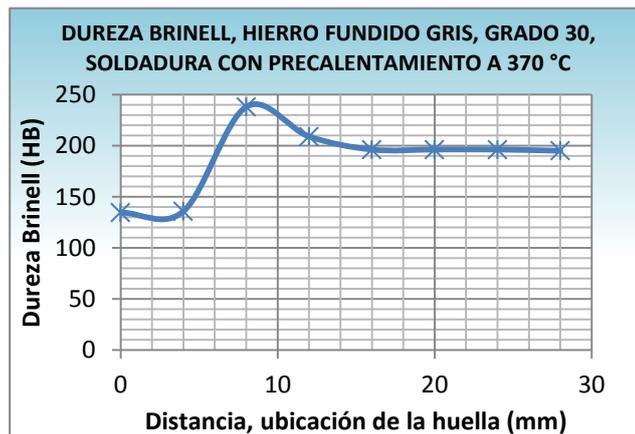
Método:	Rockwell B, C	Normas de referencia	AWS B4.0, ASTM E 18
Penetrador	Esfera de acero de 1/16" in		
Carga aplicada:	980 N	Tiempo de ensayo:	25 min

RESULTADOS			
-------------------	--	--	--

Huella N°	Zona de barrido	Dureza	
		HRB HRC	Brinell HB
1	MA	79.0 HRB	134.5
2	MA	79.5 HRB	135.8
3	Intercara	23.0 HRC	238.0
4	ZAT	98.2 HRB	209.0
5	MB	96.0 HRB	196.2
6	MB	96.0 HRB	196.2
7	MB	96.0 HRB	196.2
8	MB	95.8 HRB	195.0

BARRIDO DE DUREZAS (mm)

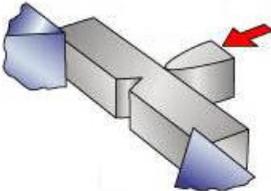
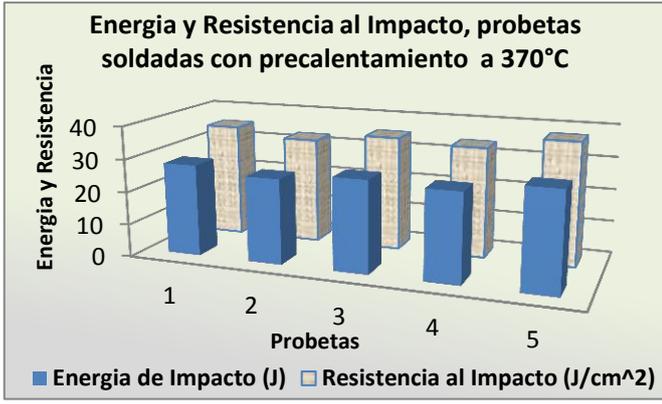




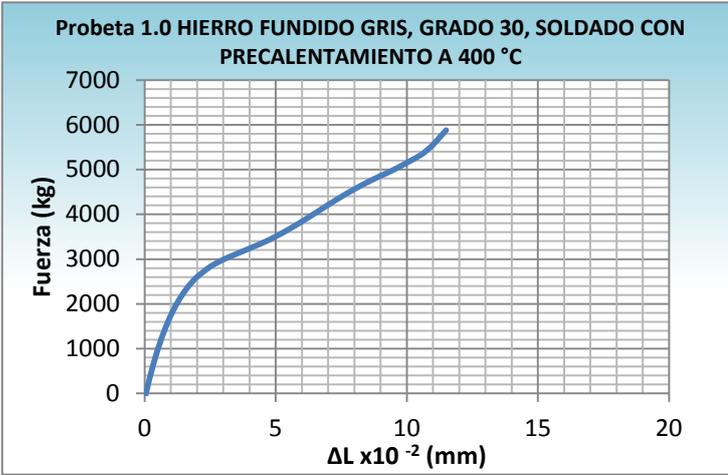
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la figura a través de un gráfico HB vs Distancia, donde se muestran los resultados de una probeta soldada con precalentamiento a 370 °C, la misma que alcanza una dureza máxima de 238 HB en la zona de la intercara de la soldadura y una dureza mínima de 134.5 HB en la zona del Metal Fundido.

4.1.14.20 ENSAYO DE IMPACTO DE LA JUNTA SOLDADA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON PRECALENTAMIENTO A 370°C

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY			E.M. N°: 064		
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR					
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30		
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Denominación:	Níquel 100		
Tipo de Soldadura:	SMAW	T° de precalentamiento	370°		
N° de Probetas:	1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 - 5.0	Medio de precalentamiento	Horno		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	25/04/2013		
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"			
Dimensiones:	10 x 10 x 55 (mm)	Tipo de entalle	En V, 2 mm, 45°		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO CHARPY					
Normas de referencia:	ASTM, AWS, INEN	Designación:	ASTM-E 23, AWS B4.0, INEN 130		
Preparación de la probeta:	Fresado	Instrumento:	Péndulo de Ensayo Charpy		
RESULTADOS					
Probeta N°	Sección transversal de la probeta			Energía de Impacto	Resistencia al impacto
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	(Joule)	J/cm ²
1.0	0.790	0.985	0.778	28	35.0
2.0	0.760	0.950	0.722	26	32.5
3.0	0.760	0.955	0.726	28	35.0
4.0	0.780	0.970	0.757	27	33.75
5.0	0.73	0.980	0.715	30	37.5
Detalle de la probeta		Promedios:		27.80	34.75
 Probeta ensayada		 Energía y Resistencia al Impacto, probetas soldadas con precalentamiento a 370°C			
					
Temperatura de ensayo:	21°	Tipo de fracturas:	Frágil		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
Los resultados muestran que en una probeta soldada con precalentamiento en horno a (370°), la energía de impacto promedio se encuentra en 27.80 Joule y tiene una resistencia al impacto promedio de 37.639 Joule/cm ² . Los valores mayor y menor de impacto son 30 J. y 26 J. respectivamente.					

4.1.14.21 ENSAYO A TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 400°C, CON ELECTRODO E-NI-CI.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE TRACCIÓN		E.T. Nº: 065	
DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	400 °C	Nº de Probeta:	1.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	29/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas
RESULTADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.45 mm
Carga Máxima:	5993.6 kg	Deformación Max:	11.5 mm
GRAFICO FUERZA - ΔL			
			
Calculo del porcentaje de alargamiento: Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.45 - 50}{50} * 100 = 2.90 \%$			
Calculo Reducción porcentual del área: % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 279.003}{304} * 100\% = 8.22 \%$			
Calculo de la resistencia última a la tracción: $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5993.6 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 19.716 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 28,04 \text{ ksi}$			
OBSERVACIONES			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 066

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	400 °C	Nº de Probeta:	2.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	29/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

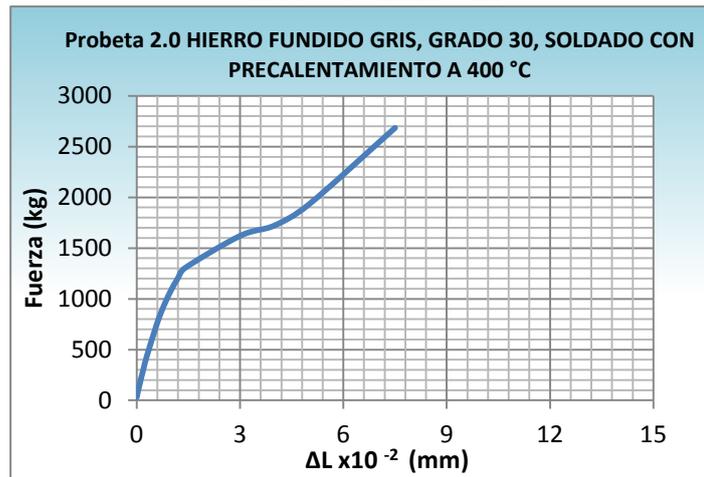
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.1 mm
Carga Máxima:	2684.5 kg	Deformación Max:	7.5 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.1 - 50}{50} * 100 = 2.20 \%$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 292.950}{304} * 100\% = 3.63 \%$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{2684.5 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 8.831 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 12,56 \text{ ksi}$$

OBSERVACIONES

La rotura atravesó la soldadura, el inicio de fisuramiento fue debido a un encapsulamiento del gas producido posiblemente por el proceso de soldadura.



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 067

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	400 °C	Nº de Probeta:	3.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	29/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

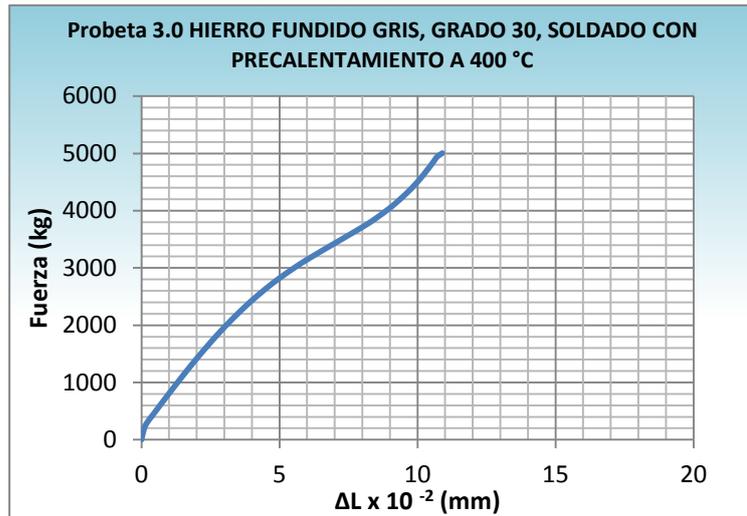
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.3 mm
Carga Máxima:	5004.8 kg	Deformación Max:	10.9 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.5 - 50}{50} * 100 = 3.00 \%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 $\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 285.0}{304} * 100\% = 6.25 \%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5004.8 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 16.463 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 23,42 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 068

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	400 °C	Nº de Probeta:	4.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	29/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

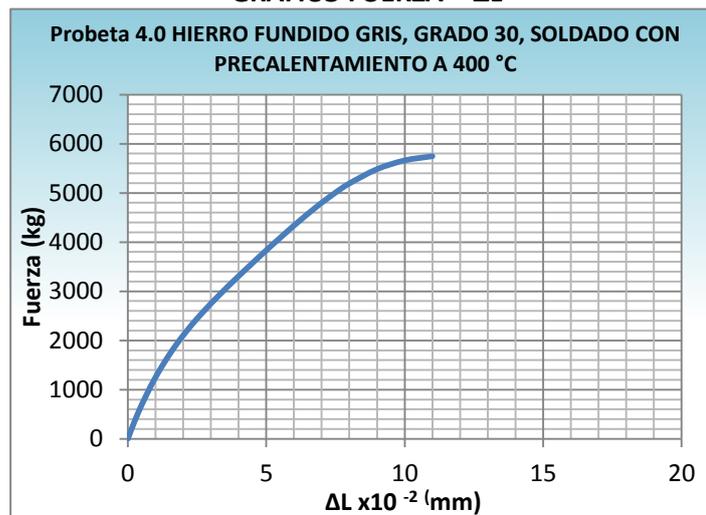
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.6 mm
Carga Máxima:	5746.4 kg	Deformación Max:	11.0 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.6 - 50}{50} * 100 = 3.20 \%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 $\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 282.219}{304} * 100\% = 7.16 \%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5746.4 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 18.903 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 26,89 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. Nº: 069

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	400 °C	Nº de Probeta:	5.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	29/04/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

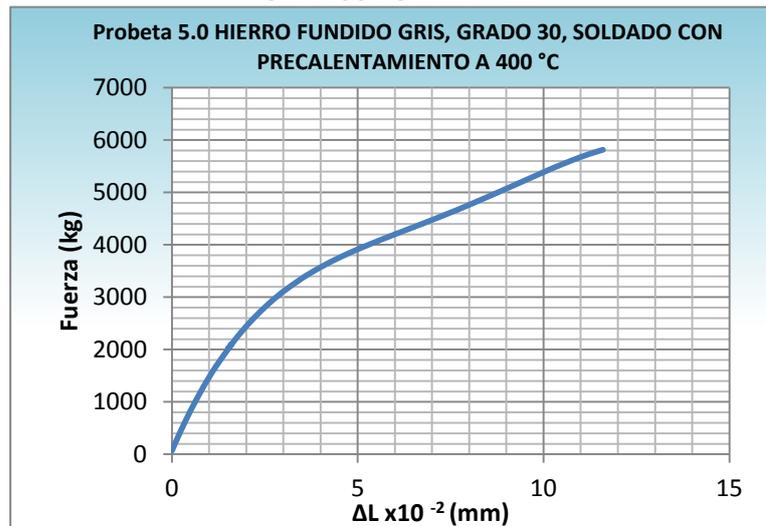
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.7 mm
Carga Máxima:	5814.9 kg	Deformación Max:	11.6 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.7 - 50}{50} * 100 = \mathbf{3.40\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

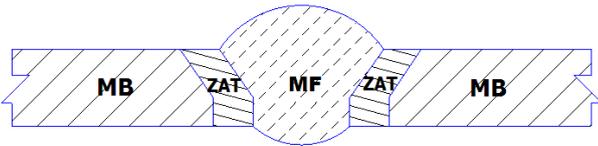
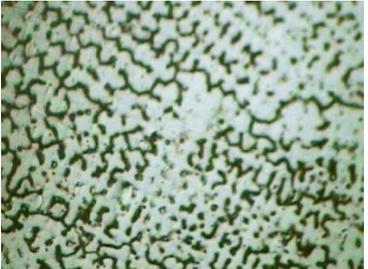
$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 292.500}{304} * 100\% = \mathbf{3.78\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5814.9 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = \mathbf{19.128 \frac{kg}{mm^2} = 27,21 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES

4.1.14.22 ENSAYO METALOGRÁFICO DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 400°C, CON ELECTRODO E-Ni-CI.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO METALOGRÁFICO		E.M. N°: 070	
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	400 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	03/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2, Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:		Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS			
Zonas metalúrgicas de la soldadura analizadas.			
	NOMENCLATURA MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base		
 MF	 MB	 ZAT	
Junta soldada con precalentamiento a 400 °C, 100X			



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



ENSAYO METALOGRAFICO, METAL BASE

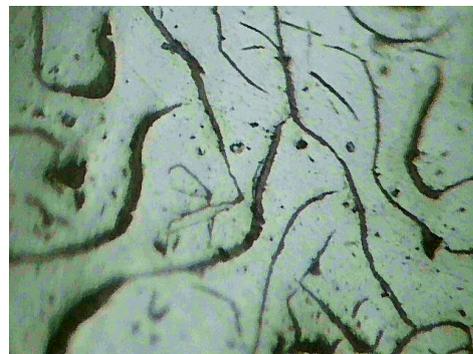
E.M. N°: 071

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	400 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	03/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	7 Seg.	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS	
Zonas metalúrgicas analizadas.	
	<p align="center">NOMENCLATURA</p> <p>MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base</p>



METAL BASE 100X, NITAL 2, 7 SEG.



METAL BASE 200X, NITAL 2, 7 SEG.

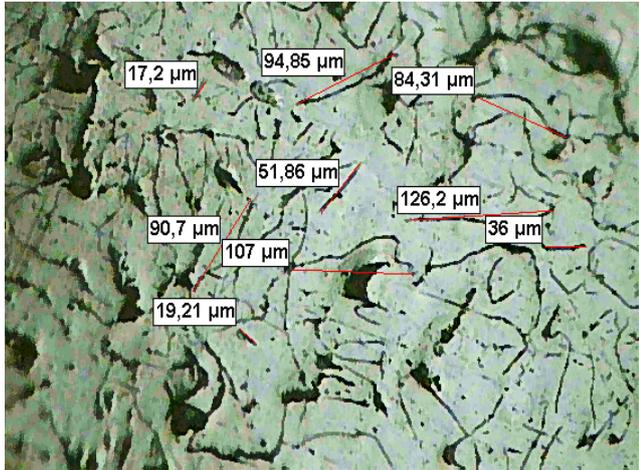
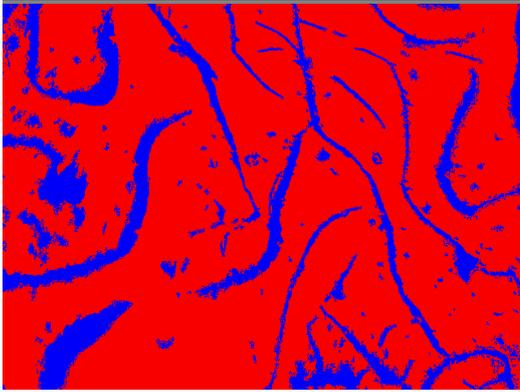
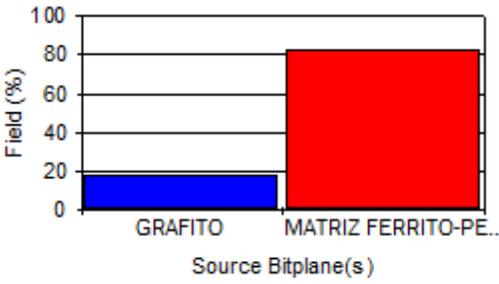


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE

E. M. Nº 071

<p align="center">DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO</p>	<p align="center">MICROESTRUCTURA A 100X</p>						
<p align="center">RESULTADOS SOFTWARE</p>							
<p>Statistics GRAFITHE LENGHT Minimum: 17,2 µm Maximum: 126,2 µm Mean: 69,7 µm</p> <p>Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fundición gris tipo: VII ✓ Forma de grafito: Laminar, ✓ Distribución de grafito: A ✓ Tamaño de grafito: 4-5 ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica 	 <p align="center">Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 400° C, Material Base, Nital 2, 7 Seg.</p>						
<p>Componentes:</p>	<p align="center">Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica</p>						
<p align="center">Componentes Microestructurales:</p>	<p align="center">Porcentajes:</p>						
 <p align="center">Imagen Binarizada, 200X</p>	 <table border="1" data-bbox="871 1529 1362 1682"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRAFITO</td> <td>17,7</td> </tr> <tr> <td>MATRIZ FERRITO-PERLITICA</td> <td>82,3</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	GRAFITO	17,7	MATRIZ FERRITO-PERLITICA	82,3
S. Bitplane(s)	Field (%)						
GRAFITO	17,7						
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	82,3						
<p>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</p>							
<p>La microestructura analizada presenta el 17,7 % de grafito laminar en un 82,3 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A y su tamaño de grafito es N° 4 - 5.</p>							



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



ENSAYO METALOGRAFICO, ZAT E.M. Nº: 072

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

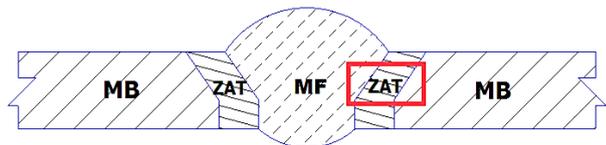
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	400 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	03/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2,		
Tiempo de ataque:	7 Seg	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.



NOMENCLATURA

MF: Metal fundido
ZAT: Zona Térmicamente Afectada
MB: Metal base



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 100X, NITAL 2, 7 SEG.



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 200X, NITAL 2, 7 SEG.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ZAT

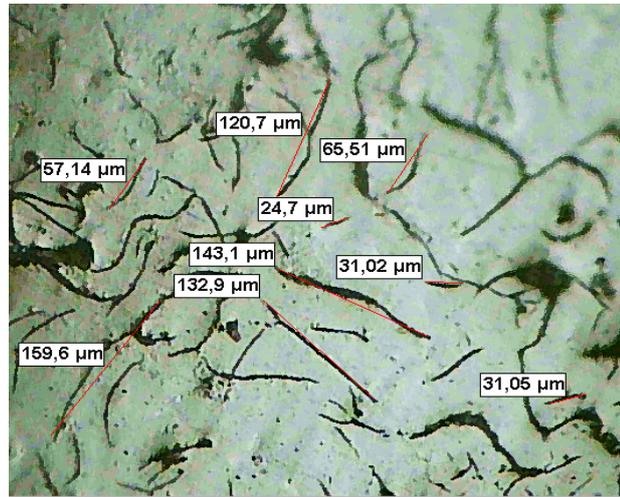
E. M. N° 072

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO

MICROESTRUCTURA A 100X

RESULTADOS SOFTWARE

Statistics GRAFITHE LENGHT
 Minimum: 24,7 μm
 Maximum: 159,6 μm
 Mean: 85,1 μm



Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar,
- ✓ Distribución de grafito: A
- ✓ Tamaño de grafito: 4
- ✓ Matriz : Ferrítico-Perlítica

Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 370° C, Zona térmicamente afectada, Nital 2, 7 Seg.

Componentes:

Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

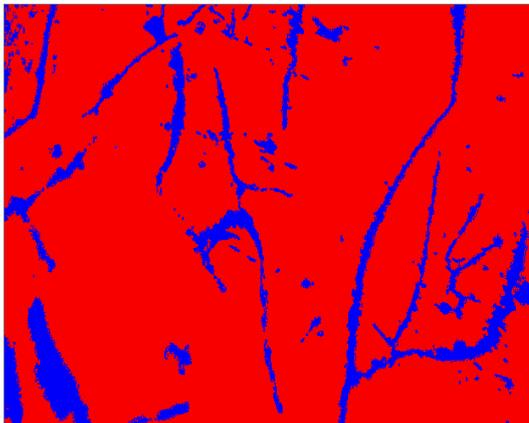
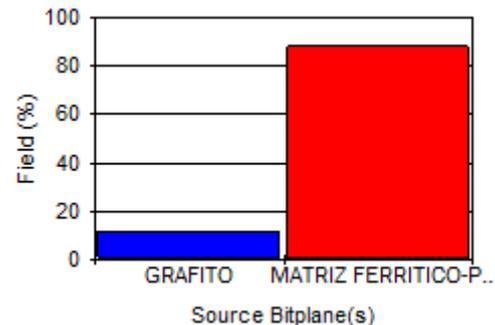


Imagen Binarizada, 200X



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	11,8
MATRIZ FERRITICO-PERLITICA	88,2

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 11,8 % de grafito laminar en un 88,2 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A y su tamaño de grafito es N° 4.



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

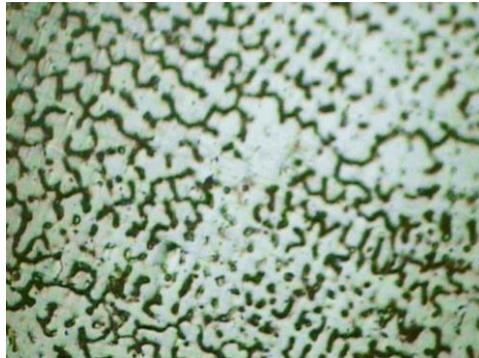


ENSAYO METALOGRAFICO, METAL FUNDIDO

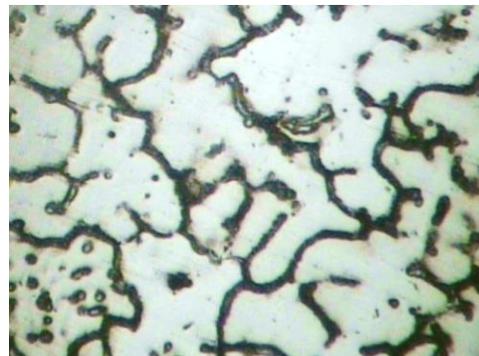
E.M. N°: 073

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	400 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	03/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:	3 min	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS	
Zonas metalúrgicas analizadas.	
	<p align="center">NOMENCLATURA</p> <p>MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base</p>



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 100X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 3 min.



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 200X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 3 min.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA
 DEL METAL FUNDIDO

E. M. Nº 073

RESULTADOS UTILIZANDO SOFTWARE

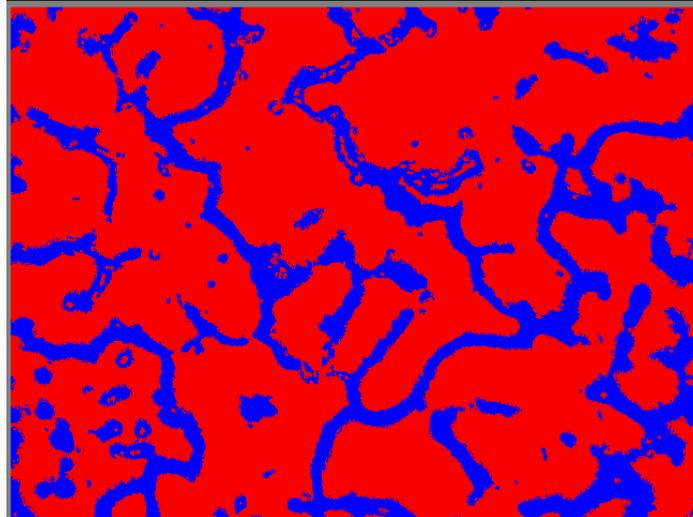
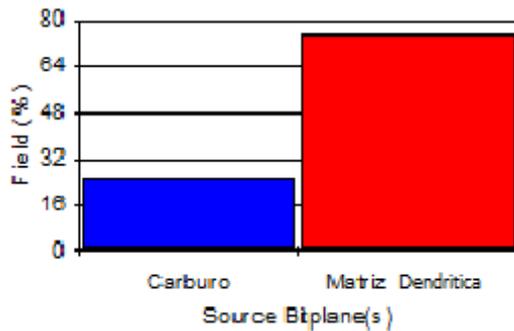


Imagen Binarizada, 200X
 Soldadura con precalentamiento 400 °C, Metal Fundido
 (Cordón de soldadura), Reactivo Níquel - Cobre 38, 3 min.

Componentes: Carburo, en una matriz dendrítica de níquel.

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:



S. Bitplane(s)	Field (%)
Carburo	24,7
Matriz Dendrítica	75,3

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

Los análisis presentan una estructura compuesta de carburo primario en un 24,7 % precipitada en una matriz dendrítica rica en níquel del 75,3 %.

4.1.14.23 ENSAYO DE DUREZA DE LA JUNTA SOLDADA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON PRECALENTAMIENTO A 400°C

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

ENSAYO DE DUREZA	E.M. N°: 074
-------------------------	---------------------

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
---	--	--	--

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	400°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	10/04/2013
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”	
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

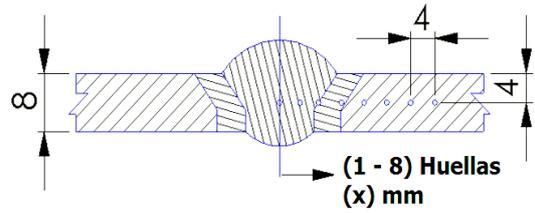
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
--	--	--	--

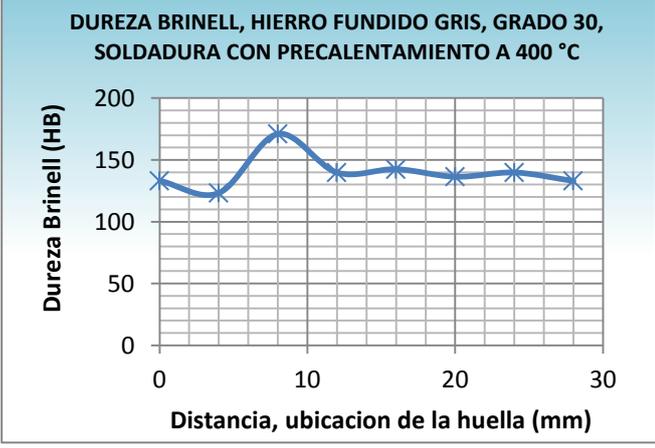
Método:	Rockwell B	Normas de referencia	AWS B4.0, ASTM E 18
Penetrador	Esfera de acero de 1/16" in		
Carga aplicada:	980 N	Tiempo de ensayo:	25 min

RESULTADOS			
-------------------	--	--	--

Huella N°	Zona de barrido	Dureza	
		HRB	Brinell HB
1	MA	78.5	133.2
2	MA	74	123.2
3	Intercara	91.5	171
4	ZAT	81	139.8
5	MB	82	142.5
6	MB	79.7	136.4
7	MB	81	139.8
8	MB	78.4	133

BARRIDO DE DUREZAS (mm)

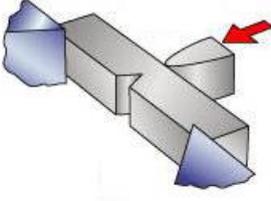
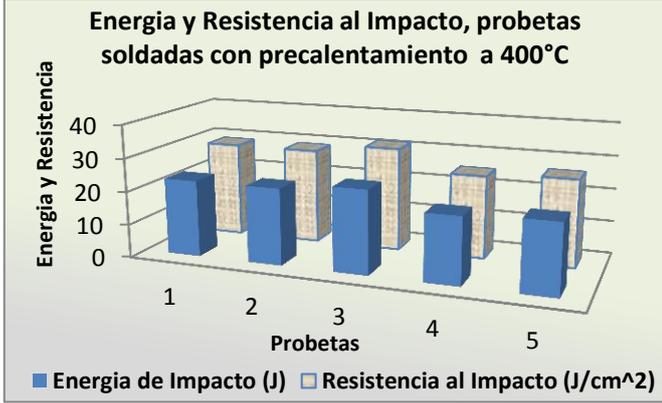




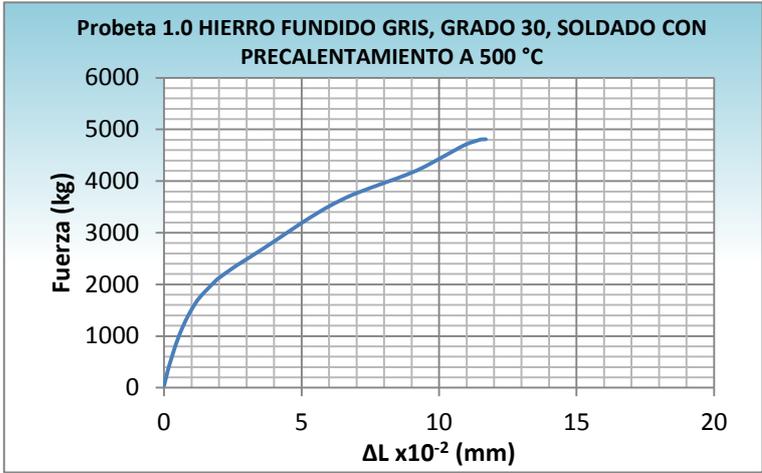
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la figura a través de un gráfico HB vs Distancia, donde se muestran los resultados de una probeta soldada con precalentamiento a 400 °C, la misma que alcanza una dureza máxima de 171 HB en la zona de la intercara de la soldadura y una dureza mínima de 123.2 HB en la zona del Metal Fundido.

**4.1.14.24 ENSAYO DE IMPACTO DE LA JUNTA SOLDADA DEL
HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON
PRECALENTAMIENTO A 400°C**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY				E.M. N°: 075	
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR					
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30		
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Denominación:	Níquel 100		
Tipo de Soldadura:	SMAW	T° de precalentamiento	400°		
N° de Probetas:	1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 -5.0	Medio de precalentamiento	Horno		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	27/04/2013		
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"				
Dimensiones:	10 x 10 x 55 (mm)	Tipo de entalle	En V, 2 mm, 45°		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO CHARPY					
Normas de referencia:	ASTM, AWS, INEN	Designación:	ASTM-E 23, AWS B4.0, INEN 130		
Preparación de la probeta:	Fresado	Instrumento:	Péndulo de Ensayo Charpy		
RESULTADOS					
Probeta N°	Sección transversal de la probeta			Energía de Impacto	Resistencia al impacto
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	(Joule)	J/cm ²
1.0	0.750	0.950	0.713	23	28.75
2.0	0.760	0.960	0.730	23	28.75
3.0	0.750	0.960	0.720	25	31.25
4.0	0.760	0.970	0.737	20	25
5.0	0.750	0.950	0.713	21	26.25
Detalle de la probeta			Promedios:	22.40	28
					
					
Temperatura de ensayo:	21°	Tipo de fracturas:	Frágil		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
<p>Los resultados muestran que en una probeta soldada con precalentamiento en horno a (400 °C), la energía de impacto promedio se encuentra en 22.40 Joule y tiene una resistencia al impacto promedio de 31.026 Joule/cm². Los valores mayor y menor de impacto son 25 J. y 20 J. respectivamente.</p>					

4.1.14.25 ENSAYO A TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 500°C, CON ELECTRODO E-Ni-CI.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE TRACCIÓN		E.T. Nº: 076	
DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	500 °C	Nº de Probeta:	1.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas
RESULTADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.3 mm
Carga Máxima:	4801.2 kg	Deformación Max:	11.7 mm
GRAFICO FUERZA - ΔL			
			
Calculo del porcentaje de alargamiento: Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.3 - 50}{50} * 100 = 2.60 \%$			
Calculo Reducción porcentual del área: % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 288.688}{304} * 100\% = 5.03 \%$			
Calculo de la resistencia última a la tracción: $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{4810.2 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 15.823 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 22,51 \text{ ksi}$			
OBSERVACIONES			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 077

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	500 °C	Nº de Probeta:	2.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

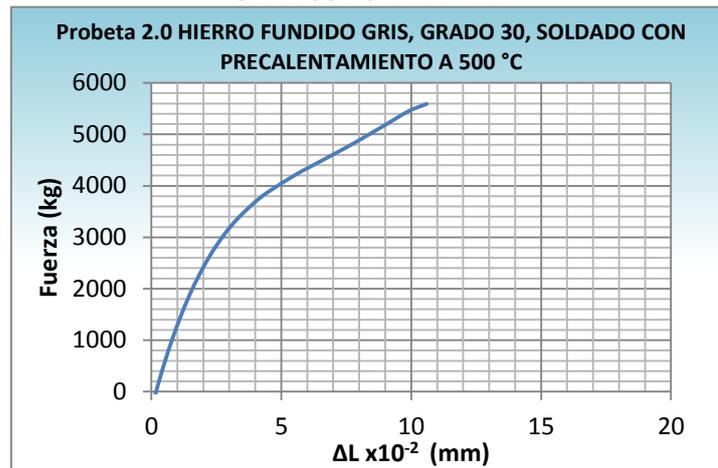
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.6 mm
Carga Máxima:	5590.3 kg	Deformación Max:	10.6 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.6 - 50}{50} * 100 = \mathbf{3.20 \%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 285.00}{304} * 100\% = \mathbf{6.25 \%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5590.3 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{S_{ut} = 18.389 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 26,16 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN **E.T. N°: 078**

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	500 °C	N° de Probeta:	3.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

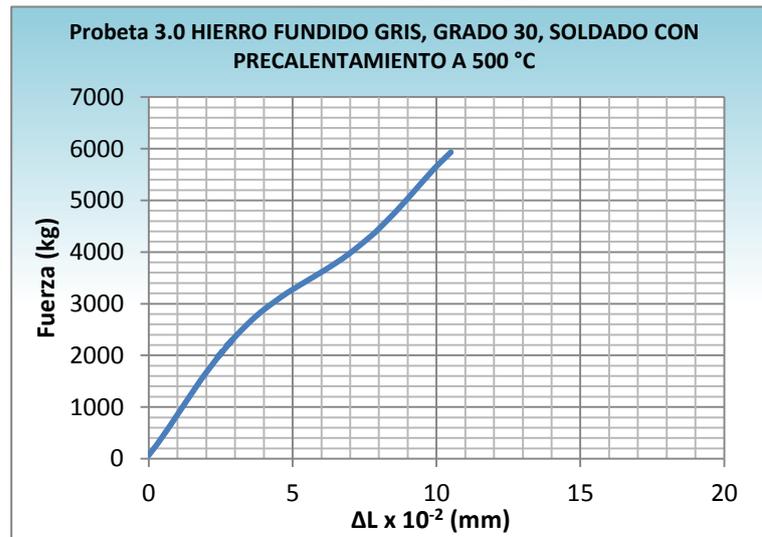
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.1 mm
Carga Máxima:	5932.5 kg	Deformación Max:	10.5 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.1 - 50}{50} * 100 = \mathbf{4.20\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 294.060}{304} * 100\% = \mathbf{3.27\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5932.5 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 19.515 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 27,76 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. Nº: 079

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	500 °C	Nº de Probeta:	4.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

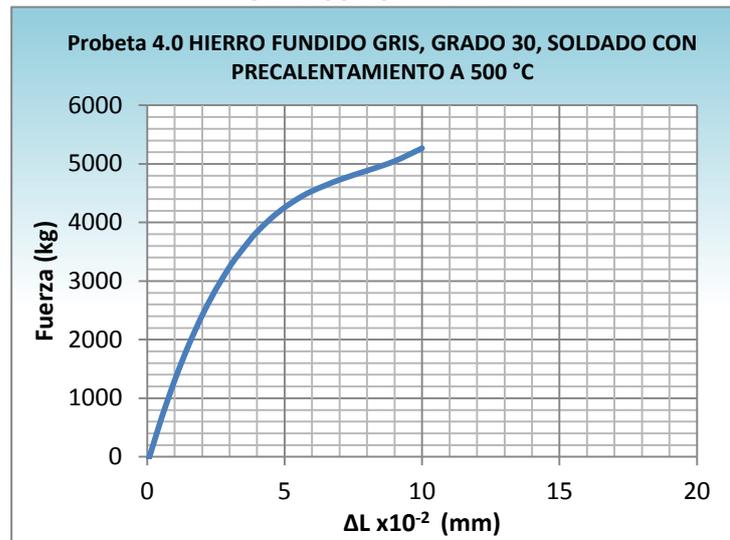
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.1 mm
Carga Máxima:	5266.8 kg	Deformación Max:	10 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.1 - 50}{50} * 100 = \mathbf{2.20\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 290.940}{304} * 100\% = \mathbf{4.29\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5266.8 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 17.325 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 24,64 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN **E.T. Nº: 080**

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	500 °C	Nº de Probeta:	5.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	06/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

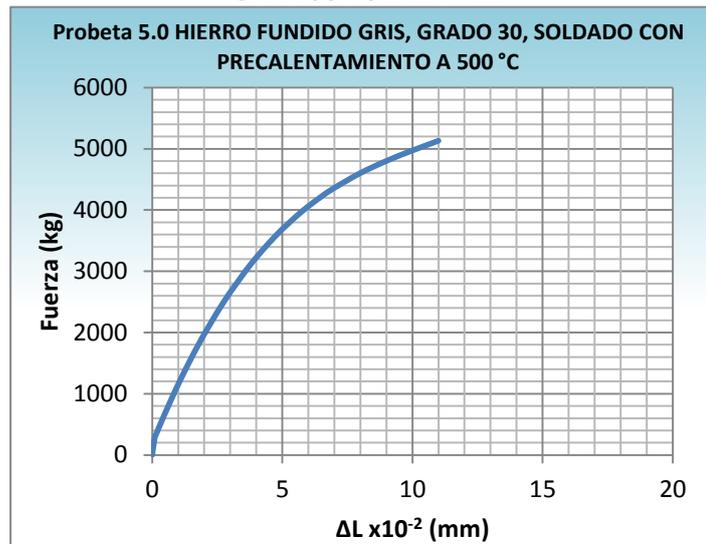
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.3 mm
Carga Máxima:	5131.2 kg	Deformación Max:	11.1 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{52.3 - 50}{50} * 100 = \mathbf{4.60\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

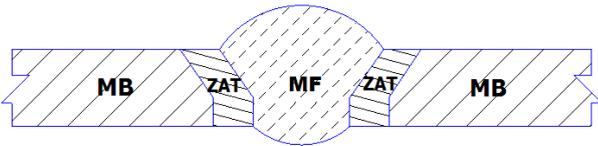
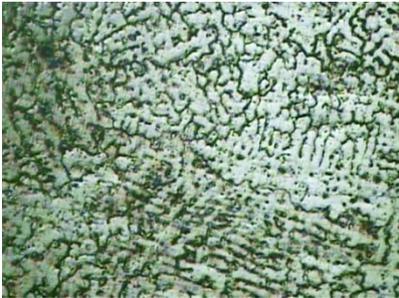
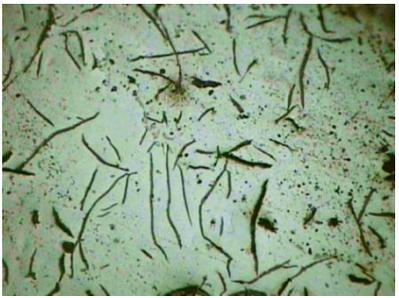
$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 281.615}{304} * 100\% = \mathbf{7.36\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{S_{ut}} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5131.2 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{S_{ut} = 16.879 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 24,01 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES

4.1.14.26 ENSAYO METALOGRÁFICO DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 500°C, CON ELECTRODO E-Ni-CI.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRÁFICO			E.M. N°: 081
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	500°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	09/05/2013
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”	
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:		Nital 2, Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07	
Tiempo de ataque:		Instrumento de observación	Microscopio
RESULTADOS			
Zonas metalúrgicas de la soldadura analizadas.			
		NOMENCLATURA MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base	
			
MF		MB	
			
ZAT			
Junta soldada con precalentamiento a 500°C, 100X			



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



ENSAYO METALOGRAFICO, METAL BASE

E.M. Nº: 082

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

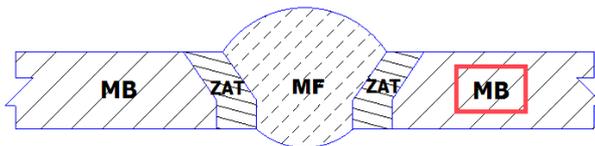
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	500°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	09/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	9 Seg.	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

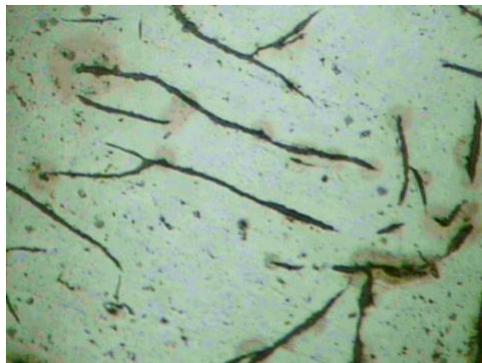


NOMENCLATURA

- MA:** Metal fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



METAL BASE 100X, NITAL 2, 9 SEG.



METAL BASE 200X, NITAL 2, 9 SEG.



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



ENSAYO METALOGRAFICO, ZAT E.M. Nº: 083

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	500°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	09/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	9 Seg	Instrumento de observación	Microscopio

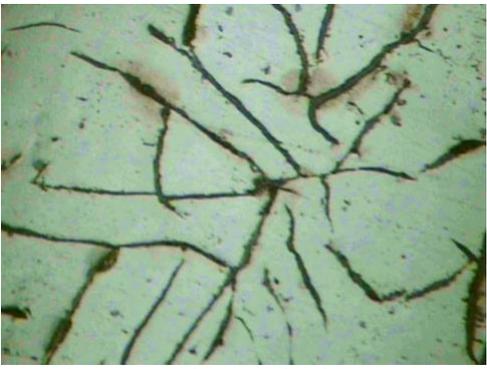
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

	<p>NOMENCLATURA</p> <p>MF: Metal fundido</p> <p>ZAT: Zona Térmicamente Afectada</p> <p>MB: Metal base</p>
--	---



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 100X, NITAL 2, 9 SEG.



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 200X, NITAL 2, 9 SEG.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DE LA ZAT

E. M. N° 083

DETERMINACIÓN DEL
TAMAÑO DE GRAFITO

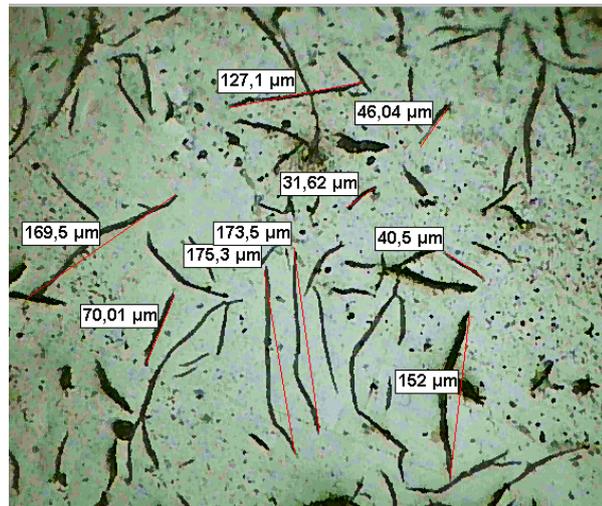
MICROESTRUCTURA A 100X

RESULTADOS SOFTWARE

Statistics GRAFITHE LENGHT
 Minimum: 31,6 μm
 Maximum: 175,3 μm
 Mean: 109,5 μm

Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar,
 Vermicular
- ✓ Distribución de grafito: A - C
- ✓ Tamaño de grafito: 4
- ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica



Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 500° C, Zona térmicamente afectada, Nital 2, 9 Seg.

Componentes:

Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

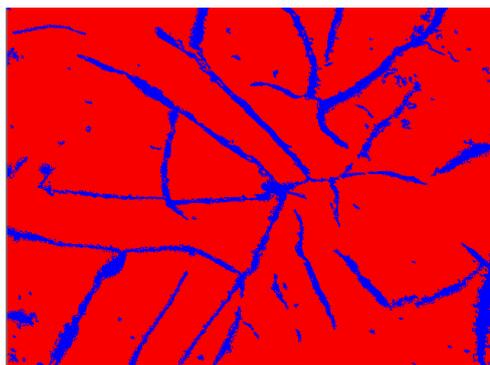
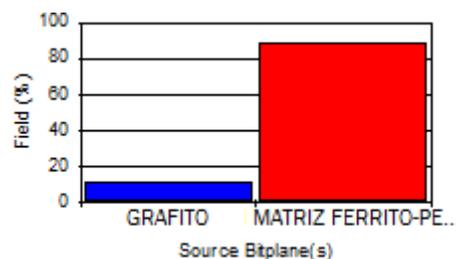


Imagen Binarizada, 200X



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	11,5
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	88,5

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 11,5 % de grafito laminar en un 88,5 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar y vermicular con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A - C y su tamaño de grafito es N° 4.



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



ENSAYO METALOGRAFICO, METAL FUNDIDO E.M. Nº: 084

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	500°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	09/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

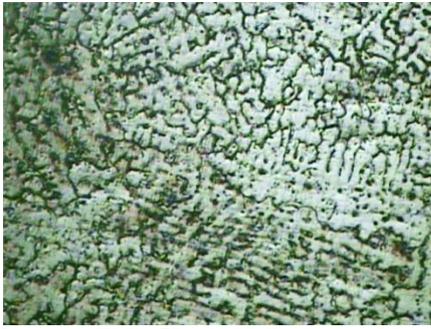
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:	15 Seg	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

	<p align="center">NOMENCLATURA</p> <p>MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base</p>
--	--



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 100X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 15 Seg



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 200X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 15 Seg



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA
 DEL METAL FUNDIDO

E. M. Nº 084

RESULTADOS UTILIZANDO SOFTWARE

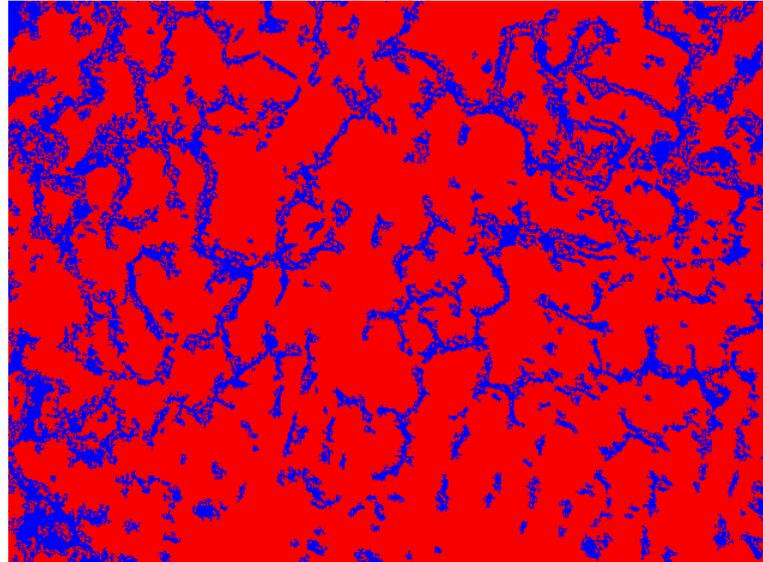
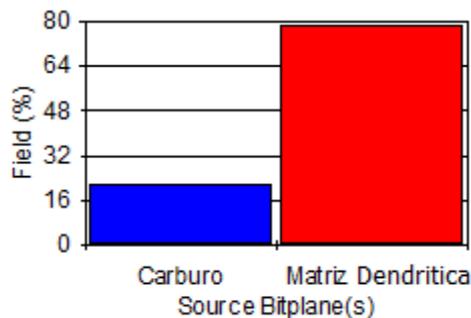


Imagen Binarizada, 200X
 Soldadura con precalentamiento 500 °C, Metal Fundido
 (Cordón de soldadura), Reactivo Níquel – Cobre 38, 15 Seg

Componentes: Carburo, en una matriz dendrítica de níquel.

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:



S. Bitplane(s)	Field (%)
Carburo	21,4
Matriz Dendrítica	78,6

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

Los análisis presentan una estructura compuesta de carburo primario en un 21,4 % precipitada en una matriz dendrítica rica en níquel del 78,6 %.

**4.1.14.27 ENSAYO DE DUREZA DE LA JUNTA SOLDADA DEL
HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON
PRECALENTAMIENTO A 500°C**

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

ENSAYO DE DUREZA		E.M. N°: 085	
-------------------------	--	---------------------	--

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
---	--	--	--

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	500°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	15/04/2013
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”	
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

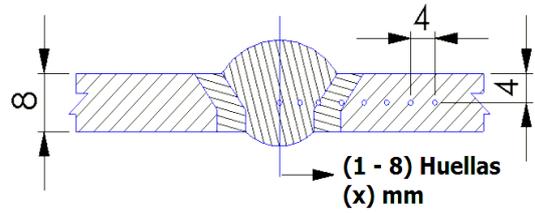
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
--	--	--	--

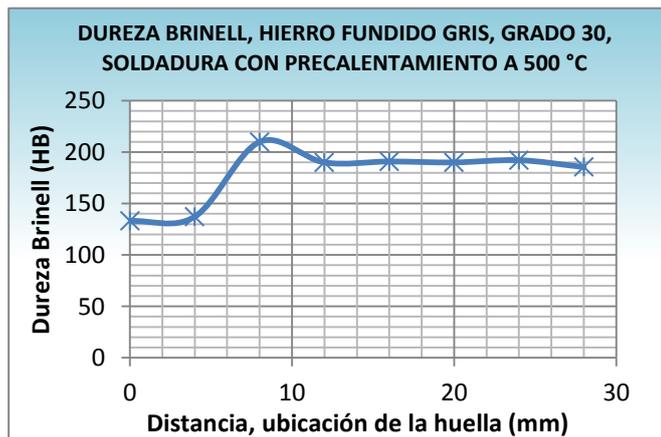
Método:	Rockwell B	Normas de referencia	AWS B4.0, ASTM E 18
Penetrador	Esfera de acero de 1/16" in		
Carga aplicada:	980 N	Tiempo de ensayo:	25 min

RESULTADOS			
-------------------	--	--	--

Huella N°	Zona de barrido	Dureza	
		HRB	Brinell HB
1	MA	78.5	133.0
2	MA	80.0	137.2
3	Intercara	98.3	210.0
4	ZAT	95.0	190.0
5	MB	95.2	190.9
6	MB	95.0	190.0
7	MB	95.5	192.2
8	MB	94.0	185.5

BARRIDO DE DUREZAS (mm)

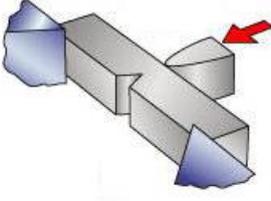
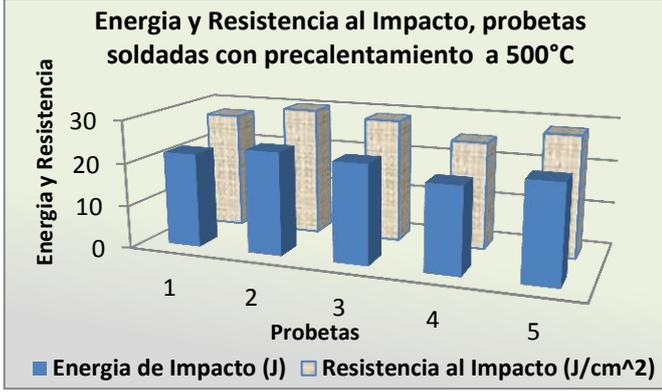




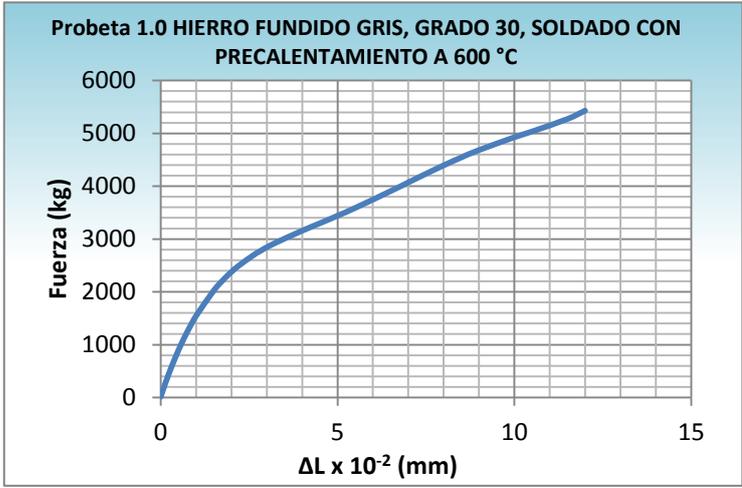
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
-------------------------------------	--

Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la figura a través de un gráfico HB vs Distancia, donde se muestran los resultados de una probeta soldada con precalentamiento a 500 °C, la misma que alcanza una dureza máxima de 210 HB en la zona de la intercara de la soldadura y una dureza mínima de 133HB en la zona del Metal Fundido.

**4.1.14.28 ENSAYO DE IMPACTO DE LA JUNTA SOLDADA DEL
HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON
PRECALENTAMIENTO A 500°C**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY				E.M. N°: 086	
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR					
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30		
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Denominación:	Níquel 100		
Tipo de Soldadura:	SMAW	T° de precalentamiento	500°		
N° de Probetas:	1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 -5.0	Medio de precalentamiento	Horno		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	07/05/2013		
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"				
Dimensiones:	10 x 10 x 55 (mm)	Tipo de entalle	En V, 2 mm, 45°		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO CHARPY					
Normas de referencia:	ASTM, AWS, INEN	Designación:	ASTM-E 23, AWS B4.0, INEN 130		
Preparación de la probeta:	Fresado	Instrumento:	Péndulo de Ensayo Charpy		
RESULTADOS					
Probeta N°	Sección transversal de la probeta			Energía de Impacto (Joule)	Resistencia al impacto (J/cm ²)
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)		
1.0	0.750	1.010	0.758	22	27.5
2.0	0.790	0.990	0.782	24	30.0
3.0	0.790	0.980	0.774	23	28.75
4.0	8	10	0.800	20	25.0
5.0	0.790	0.990	0.782	22.5	28.87
Detalle de la probeta			Promedios:	22.30	27.87
					
					
Temperatura de ensayo:	21°	Tipo de fracturas:	Frágil		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
<p>Los resultados muestran que en una probeta soldada con precalentamiento en horno a (500°), la energía de impacto promedio se encuentra en 22.30 Joule y tiene una resistencia al impacto promedio de 28.641 Joule/cm². Los valores mayor y menor de impacto son 24 J. y 20 J. respectivamente.</p>					

4.1.14.29 ENSAYO A TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 600°C, CON ELECTRODO E-NI-CI.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE TRACCIÓN		E.T. Nº: 087	
DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	600 °C	Nº de Probeta:	1.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	14/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas
RESULTADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.75 mm
Carga Máxima:	5430.7 kg	Deformación Max:	12 mm
GRAFICO FUERZA - ΔL			
 <p align="center">Probeta 1.0 HIERRO FUNDIDO GRIS, GRADO 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 600 °C</p>			
Calculo del porcentaje de alargamiento: Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.75 - 50}{50} * 100 = 3.50 \%$			
Calculo Reducción porcentual del área: % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 287.640}{304} * 100\% = 5.38 \%$			
Calculo de la resistencia ultima a la tracción: $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5430.7 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 17.864 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 25,41 \text{ ksi}$			
OBSERVACIONES			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

E.T. Nº: 088

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	600 °C	Nº de Probeta:	2.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	14/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

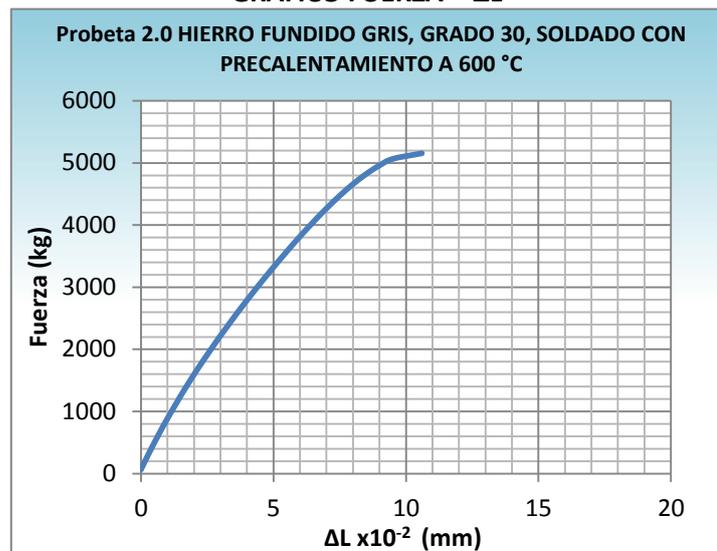
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.8 mm
Carga Máxima:	5058.3 kg	Deformación Max:	10.6 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.8 - 50}{50} * 100 = \mathbf{3.60\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 289.520}{304} * 100\% = \mathbf{4.76\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5058.3 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 16.639 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 23,67 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 089

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	600 °C	Nº de Probeta:	3.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	14/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

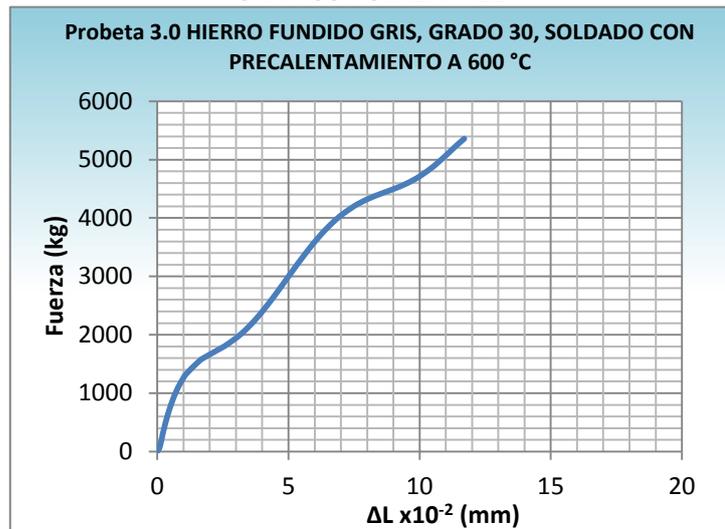
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.73 mm
Carga Máxima:	5339.2 kg	Deformación Max:	11.7 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:
 Deformación ingenieril: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.73 - 50}{50} * 100 = 3.46 \%$

Calculo Reducción porcentual del área:
 % reducción en área = $\frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 294.840}{304} * 100\% = 3.01 \%$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:
 $S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5339.2 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = S_{ut} = 17.563 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 24,98 \text{ ksi}$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN E.T. Nº: 090

DATOS INFORMATIVOS:

T° de precalentamiento	600 °C	Nº de Probeta:	4.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	14/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

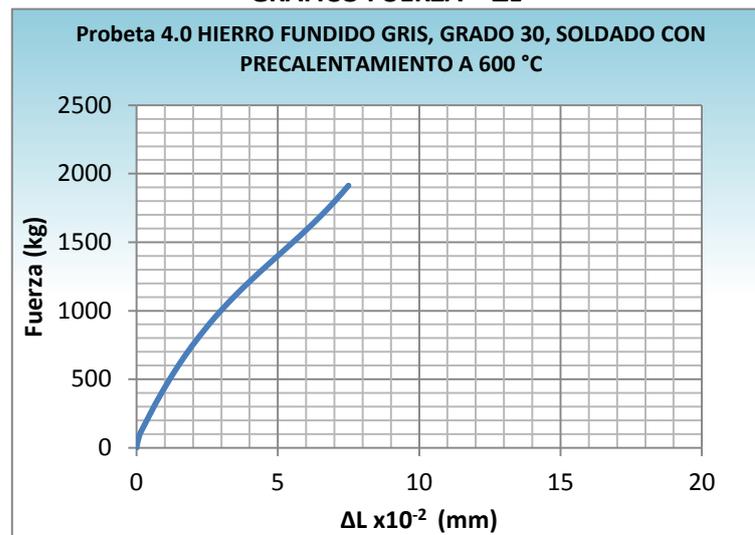
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS

Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	50.9 mm
Carga Máxima:	1913.7 kg	Deformación Max:	7.5 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{50.9 - 50}{50} * 100 = \mathbf{1.80\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 301.305}{304} * 100\% = \mathbf{0.88\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{1913.7 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{S_{ut} = 6.295 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 8,95 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

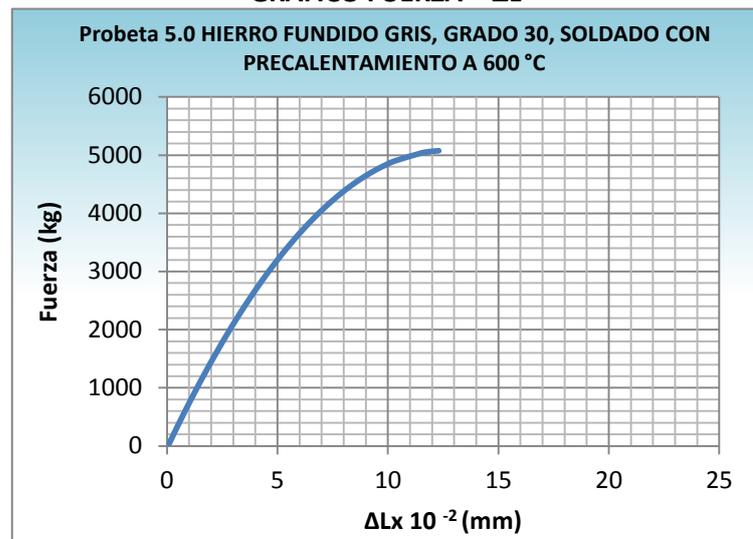
E.T. N°: 091

DATOS INFORMATIVOS:			
T° de precalentamiento	600 °C	N° de Probeta:	5.0
Medio de precalentamiento	Horno	Fecha:	14/05/2013
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Proceso:	SMAW
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Realizado bajo la norma:	ASTM, AWS	Designación:	ASTM-E 8M, AWS B4.0
Acondicionamiento de la superficie por:	Fresado		
Método:	Deformación Controlada	Longitud de Calibración:	50 mm ± 0.1
Instrumento:	Máquina Universal Tinius Olsen	Capacidad:	30 Toneladas

RESULTADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	51.9 mm
Carga Máxima:	5265.2 kg	Deformación Max:	13 mm

GRAFICO FUERZA - ΔL



Calculo del porcentaje de alargamiento:

$$\text{Deformación ingenieril: } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{51.9 - 50}{50} * 100 = \mathbf{3.80\%}$$

Calculo Reducción porcentual del área:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 = \frac{304 - 285.760}{304} * 100\% = \mathbf{6.00\%}$$

Calculo de la resistencia ultima a la tracción:

$$\mathbf{Sut} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{5265.2 \text{ kg}}{304 \text{ mm}^2} = \mathbf{Sut = 17.320 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 24,64 \text{ ksi}}$$

OBSERVACIONES

4.1.14.30 ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS, CLASE 30, SOLDADO CON PRECALENTAMIENTO A 600°C, CON ELECTRODO E-Ni-CI.

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

ENSAYO METALOGRAFICO	E.M. N°: 092
-----------------------------	--------------

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
---	--	--	--

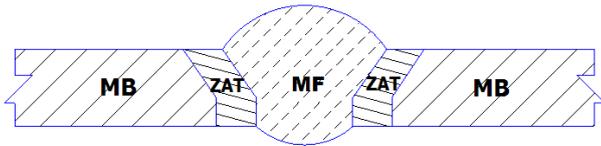
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	600 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	20/05/2013
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"	
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

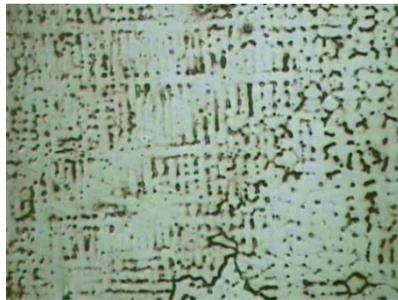
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
--	--	--	--

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2, Reactivo Níquel – Cobre 38 - ASTM E 407-07		
Tiempo de ataque:		Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas de la soldadura analizadas.

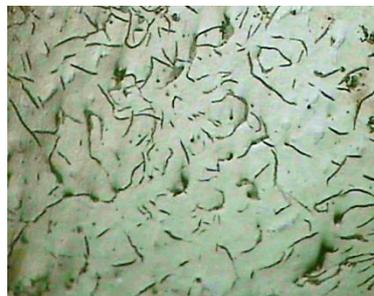
	NOMENCLATURA MF: Metal fundido ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base
---	--



MF



MB



ZAT

Junta soldada con precalentamiento a 600 °C, 100X



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



ENSAYO METALOGRÁFICO, METAL BASE

E.M. Nº: 093

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

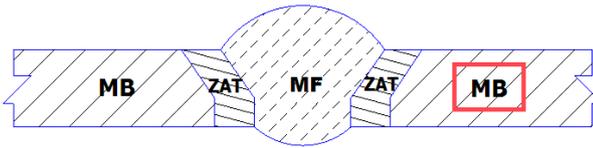
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	600 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	20/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	1 Seg.	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.



NOMENCLATURA

- MF:** Metal fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



METAL BASE 100X, NITAL 2, 1 SEG.



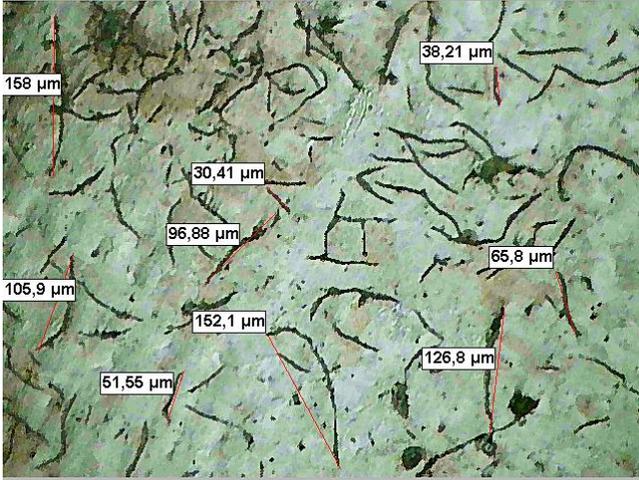
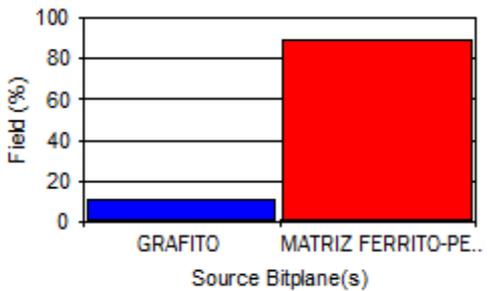
METAL BASE 200X, NITAL 2, 1 SEG.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE | E. M. N° 093

<p align="center">DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO</p> <p align="center">RESULTADOS SOFTWARE</p>	<p align="center">MICROESTRUCTURA A 100X</p>						
<p>Statistics GRAFITHE LENGHT</p> <p>Minimum: 30,41 μm</p> <p>Maximum: 158 μm</p> <p>Mean: 91,62 μm</p> <p>Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fundición gris tipo: VII ✓ Forma de grafito: Laminar, ✓ Distribución de grafito: A ✓ Tamaño de grafito: 5 ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica 	 <p align="center">Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 600 °C, Material Base, Nital 2, 1 Seg.</p>						
<p>Componentes:</p>	<p align="center">Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica</p>						
<p align="center">Componentes Microestructurales:</p>	<p align="center">Porcentajes:</p>						
 <p align="center">Imagen Binarizada, 200X</p>	 <table border="1" data-bbox="880 1505 1353 1617"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRAFITO</td> <td>11,1</td> </tr> <tr> <td>MATRIZ FERRITO-PERLITICA</td> <td>88,9</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	GRAFITO	11,1	MATRIZ FERRITO-PERLITICA	88,9
S. Bitplane(s)	Field (%)						
GRAFITO	11,1						
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	88,9						
<p>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</p>							
<p>La microestructura analizada presenta el 11,1 % de grafito laminar en un 88,9 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A y su tamaño de grafito es N° 5.</p>							



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



ENSAYO METALOGRAFICO, ZAT E.M. Nº: 094

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

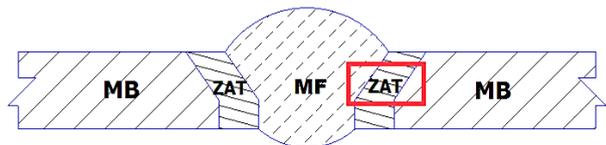
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	600 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	20/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2		
Tiempo de ataque:	2 Seg	Instrumento de observación	Microscopio

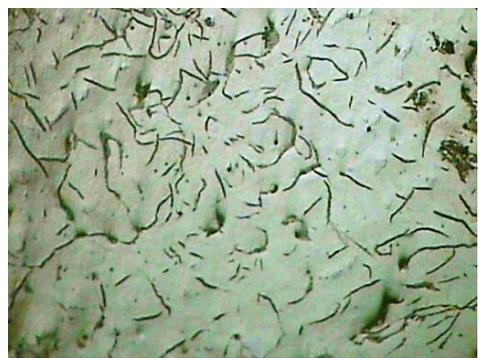
RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.



NOMENCLATURA

MF: Metal fundido
ZAT: Zona Térmicamente Afectada
MB: Metal base



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 100X, NITAL 2, 2 SEG.



ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA 200X, NITAL 2, 2 SEG.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DELA ZAT

E. M. N° 094

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRAFITO

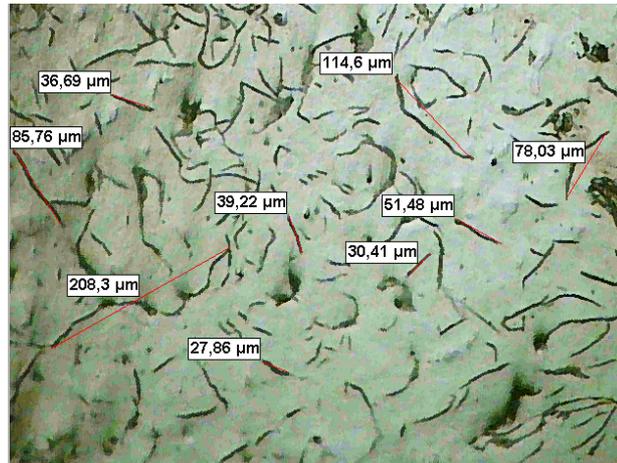
MICROESTRUCTURA A 100X

RESULTADOS SOFTWARE

Statistics GRAFITHE LENGHT
 Minimum: 27,9 μm
 Maximum: 208,3 μm
 Mean: 74,7 μm

Según la norma ASTM A247 se obtiene los siguientes resultados

- ✓ Fundición gris tipo: VII
- ✓ Forma de grafito: Laminar
- ✓ Distribución de grafito: A
- ✓ Tamaño de grafito: 4
- ✓ Matriz : Ferrito-Perlítica



Hierro Fundido Gris, Grado 30, soldada con precalentamiento a 600° C, Zona térmicamente afectada, Nital 2, 1 Seg.

Componentes:

Grafito laminar en una matriz Ferrito-perlítica

Componentes Microestructurales:

Porcentajes:

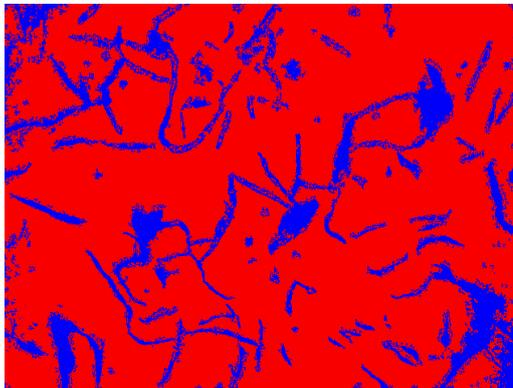
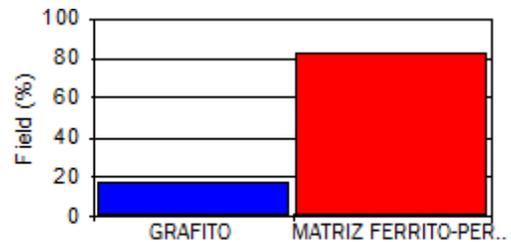


Imagen Binarizada, 200X



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	17,2
MATRIZ FERRITO-PERLITICA	82,8

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

La microestructura analizada presenta el 17,2 % de grafito laminar en un 82,8 % de una matriz Ferrito-perlítica. Según el análisis basado en la norma ASTM A247 para la evaluación del grafito, esta es una fundición gris tipo VII, la forma de grafito es laminar con orientación al azar, la distribución del grafito que presenta es de tipo A y su tamaño de grafito es N° 4.



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



ENSAYO METALOGRÁFICO, METAL FUNDIDO

E.M. Nº: 095

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR

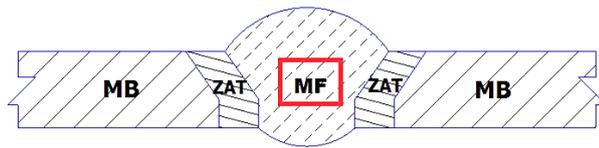
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	600 °C
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha de elaboración:	20/05/2013
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Normas de referencia:	ASTM	Designación:	ASTM A 247, ASTM E3
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Superficie óptima en:	49 min	Temperatura durante el pulido:	21 °C
Ataque químico de la superficie con:	Aleación del Níquel - Cobre		
Tiempo de ataque:	13 Seg	Instrumento de observación	Microscopio

RESULTADOS

Zonas metalúrgicas analizadas.

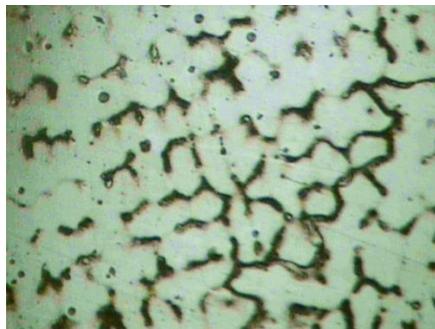


NOMENCLATURA

- MF:** Metal fundido
- ZAT:** Zona Térmicamente Afectada
- MB:** Metal base



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 100X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 13 Seg.



Metal Fundido, AWS A5.15, ENi-CI 200X, Reactivo Níquel – Cobre 38, 13 Seg.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA
 DEL METAL FUNDIDO

E. M. Nº 095

RESULTADOS UTILIZANDO SOFTWARE

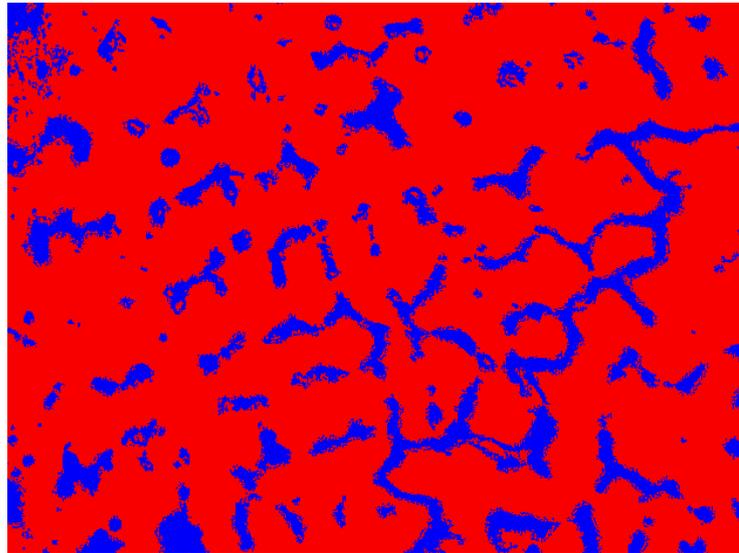


Imagen Binarizada, 200X
 Soldadura con precalentamiento 600 °C, Metal Fundido
 (Cordón de soldadura), Reactivo Níquel – Cobre 38, 13 Seg.

Componentes:	Carburo, en una matriz dendrítica de níquel.						
Componentes Microestructurales:	Porcentajes:						
<p>Field (%)</p> <p>CARBURO MATRIZ DENDRITICA</p> <p>Source Bitplane(s)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CARBURO</td> <td>16,9</td> </tr> <tr> <td>MATRIZ DENDRITICA</td> <td>83,1</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	CARBURO	16,9	MATRIZ DENDRITICA	83,1
S. Bitplane(s)	Field (%)						
CARBURO	16,9						
MATRIZ DENDRITICA	83,1						

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:
 Los análisis presentan una estructura compuesta de carburo primario en un 16,9 % precipitada en una matriz dendrítica rica en níquel del 83,1 %.

4.1.14.31 ENSAYO DE DUREZA DE LA JUNTA SOLDADA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON PRECALENTAMIENTO A 600°C

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

ENSAYO DE DUREZA		E.M. N°: 096
-------------------------	--	--------------

DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR			
---	--	--	--

Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	T° de precalentamiento	600°
Tipo de Soldadura:	SMAW	Medio de precalentamiento	Horno
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	16/04/2013
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”	
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.

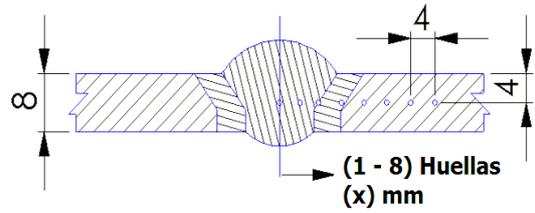
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
--	--	--	--

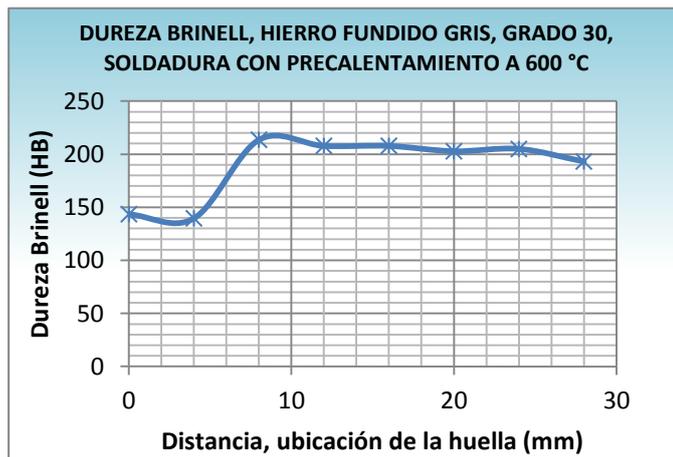
Método:	Rockwell B	Normas de referencia	AWS B4.0, ASTM E 18
Penetrador	Esfera de acero de 1/16" in		
Carga aplicada:	980 N	Tiempo de ensayo:	25 min

RESULTADOS			
-------------------	--	--	--

Huella N°	Zona de barrido	Dureza	
		HRB	Brinell HB
1	MA	80.5	143.4
2	MA	80.9	139.5
3	Intercara	99.0	213.5
4	ZAT	98.0	207.8
5	MB	98.0	207.8
6	MB	97.0	202.2
7	MB	97.5	205
8	MB	95.5	193.1

BARRIDO DE DUREZAS (mm)

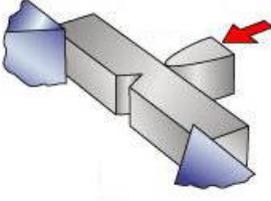
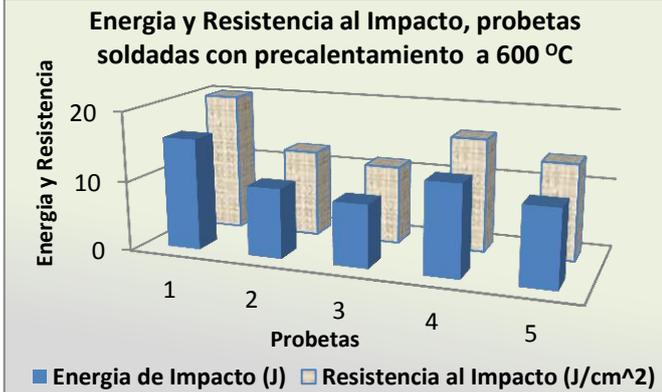




INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la figura a través de un gráfico HB vs Distancia, donde se muestran los resultados de una probeta soldada con precalentamiento a 600 °C, la misma que alcanza una dureza máxima de 213.5 HB en la zona de la intercara de la soldadura y una dureza mínima de 139.5 HB en la zona del Metal Fundido.

**4.1.14.32 ENSAYO DE IMPACTO DE LA JUNTA SOLDADA DEL
HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30 CON
PRECALENTAMIENTO A 600°C**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY				E.M. N°: 097	
DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR					
Material base:	Hierro fundido gris	Grado:	30		
Material de aporte:	AWS A5.15 – ENi-CI	Denominación:	Níquel 100		
Tipo de Soldadura:	SMAW	T° de precalentamiento	600°		
N° de Probetas:	1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 -5.0	Medio de precalentamiento	Horno		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Fecha:	12/05/2013		
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"				
Dimensiones:	10 x 10 x 55 (mm)	Tipo de entalle	En V, 2 mm, 45°		
Realizado por:	Oscar Tene.	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín.		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO CHARPY					
Normas de referencia:	ASTM, AWS, INEN	Designación:	ASTM-E 23, AWS B4.0, INEN 130		
Preparación de la probeta:	Fresado	Instrumento:	Péndulo de Ensayo Charpy		
RESULTADOS					
Probeta N°	Sección transversal de la probeta			Energía de Impacto	Resistencia al impacto
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	(Joule)	J/cm ²
1.0	0.70	0.980	0.686	16	20.0
2.0	0.780	0.970	0.757	10	12.5
3.0	0.770	0.980	0.755	9	11.25
4.0	0.750	0.970	0.728	13	16.25
5.0	0.790	0.960	0.758	11	13.75
Detalle de la probeta			Promedios:	11.80	14.75
					
Probeta ensayada 					
Temperatura de ensayo:	21°	Tipo de fracturas:	Frágil		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
Los resultados muestran que en una probeta soldada con precalentamiento en horno a (600°), la energía de impacto promedio se encuentra en 11.80 Joule y tiene una resistencia al impacto promedio de 16.168 Joule/cm ² . Los valores mayor y menor de impacto son 16 J. Y 9 J. respectivamente.					

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De los ensayos realizados se recolecto la información y se procedió a clasificar y presentar los resultados de la investigación en cuadros estadísticos, posteriormente se procedió a analizar y obtener conclusiones que sustenten la hipótesis.

4.2.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A TRACCIÓN

El ensayo a tracción es una manera de obtener información de sobre el comportamiento mecánico de los materiales. Mediante una máquina de ensayos a tracción aplicamos fuerza uniaxialmente llegando generalmente a la fractura. Para el ensayo a tracción se utilizó probetas de sección plana basándose en la norma AWS B4.0 -98, soldadas con diferentes temperaturas de precalentamiento y se ensayaron en una maquina con capacidad para 30 toneladas, los resultados obtenidos se muestran a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 4.5: Resultados; probetas ensayadas a tracción soldadas sin precalentamiento 21°C.

Probeta	Carga máxima [kg]	Elongación [%]	Reducción de área [%]	Sut [ksi]
1	3137.8	3.50	9.12	14.68
2	3091.9	3.40	6.79	14.47
3	3319.9	4.20	6.51	15.53
4	2590.1	2.60	5.67	12.12
5	3378.9	3.20	7.56	15.81
Promedio:	3103.72	3.38	7.13	14.52

Elaborado por: Oscar Tene

Tabla 4.6: Resultados; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 100°C.

Probeta	Carga máxima [kg]	Elongación [%]	Reducción de área [%]	Sut [ksi]
1	3708.1	4.20	6.13	17.35
2	3407.7	2.40	4.95	15.94
3	3670.3	2.00	7.19	17.17
4	3872.2	2.20	5.16	18.12
5	3363.4	4.00	4.38	15.74
Promedio:	3604.34	2.96	5.56	16.86

Elaborado por: Oscar Tene

Tabla 4.7: Resultados; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 200°C.

Probeta	Carga máxima [kg]	Elongación [%]	Reducción de área [%]	Sut [ksi]
1	4442.2	3.80	3.76	20.78
2	5110.9	2.80	4.80	23.91
3	4567.4	2.60	8.11	21.37
4	5356.8	3.00	5.05	25.06
5	5337.6	3.20	6.92	24.97
Promedio:	4962.98	3.08	5.73	23.22

Elaborado por: Oscar Tene

Tabla 4.8: Resultados; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 300°C.

Probeta	Carga máxima [kg]	Elongación [%]	Reducción de área [%]	Sut [ksi]
1	6667.1	3.60	4.06	31.20
2	6695.6	4.60	4.78	31.33
3	6706.9	3.40	3.33	31.38
4	6013.4	4.20	4.25	28.14
5	6072.0	4.60	4.76	28.41
Promedio:	6431.0	4.08	4.24	30.09

Elaborado por: Oscar Tene

Tabla 4.9: Resultados; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 370°C.

Probeta	Carga máxima [kg]	Elongación [%]	Reducción de área [%]	Sut [ksi]
1	6500.8	3.80	4.75	30.42
2	6712.3	5.00	5.76	31.41
3	6775.4	2.75	5.65	31.70
4	6737.4	4.80	4.68	31.53
5	6312.4	4.60	4.03	29.54
Promedio:	6607.6	4.19	4.97	30.92

Elaborado por: Oscar Tene

Tabla 4.10: Resultados; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 400°C.

Probeta	Carga máxima [kg]	Elongación [%]	Reducción de área [%]	Sut [ksi]
1	5993.6	2.90	8.22	28.04
2	2684.5	2.20	3.63	12.56
3	6003.4	3.00	6.25	28.09
4	5746.4	3.20	7.16	26.89
5	5814.9	3.40	3.78	27.21
Promedio:	5889.5	2.94	5.81	27.56

Elaborado por: Oscar Tene

Tabla 4.11: Resultados; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 500 °C.

Probeta	Carga máxima [kg]	Elongación [%]	Reducción de área [%]	Sut [ksi]
1	5906.7	2.60	5.03	27.64
2	5590.3	3.20	6.25	26.16
3	5932.5	4.20	3.27	27.76
4	5266.8	2.20	4.29	24.64
5	5470.5	4.60	7.36	25.60
Promedio:	5633.3	3.36	5.24	26.36

Elaborado por: Oscar Tene

Tabla 4.12: Resultados; Probetas ensayadas a tracción soldadas con precalentamiento a 600 °C.

Probeta	Carga máxima [kg]	Elongación [%]	Reducción de área [%]	Sut [ksi]
1	5430.7	3.50	5.38	25.41
2	5058.3	3.60	4.76	23.67
3	5339.2	3.46	3.01	24.98
4	1913.7	1.80	0.88	8.95
5	5265.2	3.80	6.00	24.64
Promedio:	4601.42	3.23	4.009	21.53

Elaborado por: Oscar Tene

Para la interpretación de datos solo tomo los promedios de las probetas soldadas con/sin precalentamiento a diferentes temperaturas:

Tabla 4.13: Resultados promedio de las Probetas ensayadas a tracción con/sin precalentamiento

Temperaturas de precalentamiento	Carga promedio máxima [kg]	Elongación promedio [%]	Reducción de área promedio [%]	Sut promedio [ksi]
S/P	3103.72	3.38	7.13	14.52
100 °C	3604.34	2.96	5.56	16.86
200 °C	4962.98	3.08	5.73	23.22
300 °C	6431.00	4.08	4.24	30.09
370 °C	6607.60	4.19	4.97	30.92
400 °C	5889.50	2.94	5.81	27.56
500 °C	5633.30	3.36	5.24	26.36
600 °C	4601.42	3.23	4.00	21.53

Elaborado por: Oscar Tene

A partir de los datos tabulados de los ensayos tracción, se realizaron graficas de columnas, en las cuales se realizó un análisis comparativo entre el comportamiento mecánico de las propiedades del hierro fundido gris clase 30 soldadas con diferente temperatura de precalentamiento.

▪ CARGA MÁXIMA

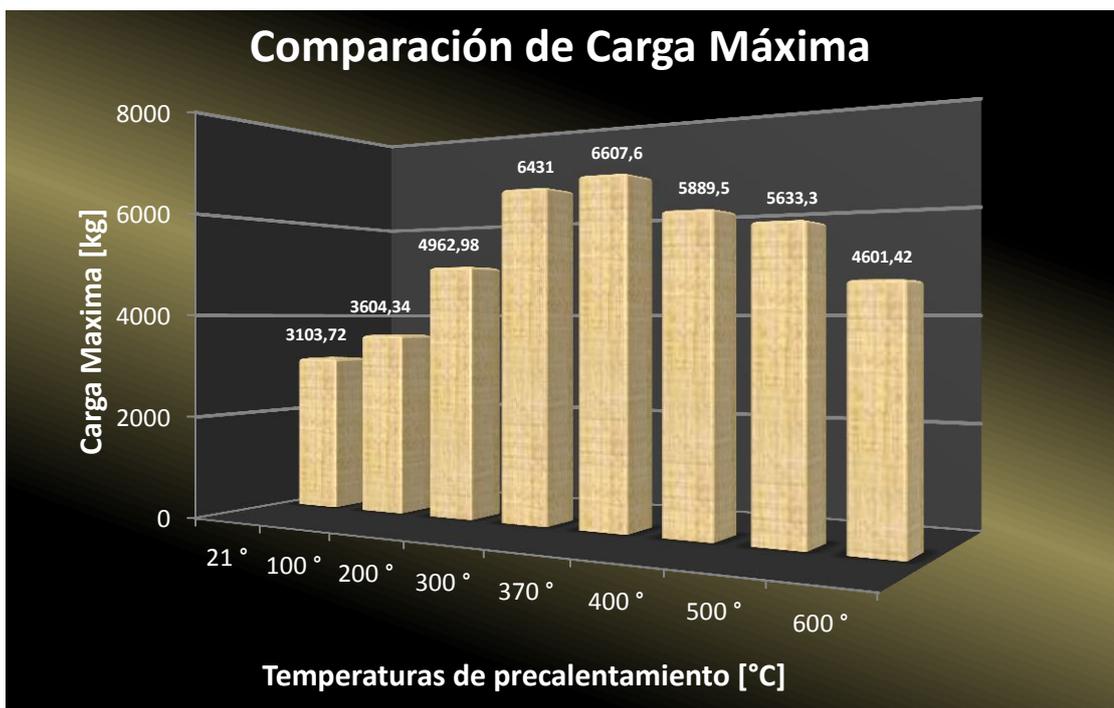


Figura 4. 8 Comparación de la carga máxima vs las Temperaturas de precalentamiento

Elaborado por: Oscar Tene

En la figura 4.8 se observa los resultados obtenidos de la carga máxima del ensayo a tracción de la soldadura con/sin precalentamiento del hierro fundido gris clase 30, siendo 370 [°C] la temperatura aplicada de precalentamiento en las probetas la que alcanza una carga máxima más elevada que es de 6607.8 [kg], la diferencia es notable si comparamos esta carga máxima con las probetas soldadas sin precalentamiento que es de 3103.72 [kg], la carga máxima de la temperatura de precalentamiento de 21 [°C] es de 53.54 % menor a la 370[°C], otra de las temperaturas que alcanza una carga máxima elevada es la de 300 [°C] obteniendo un valor de 6431 [kg]. La correcta de la temperatura de precalentamiento aplicada aumenta la carga máxima pero también observamos que la carga disminuye a medida que la temperatura de precalentamiento disminuye.

▪ **ELONGACIÓN [%]**

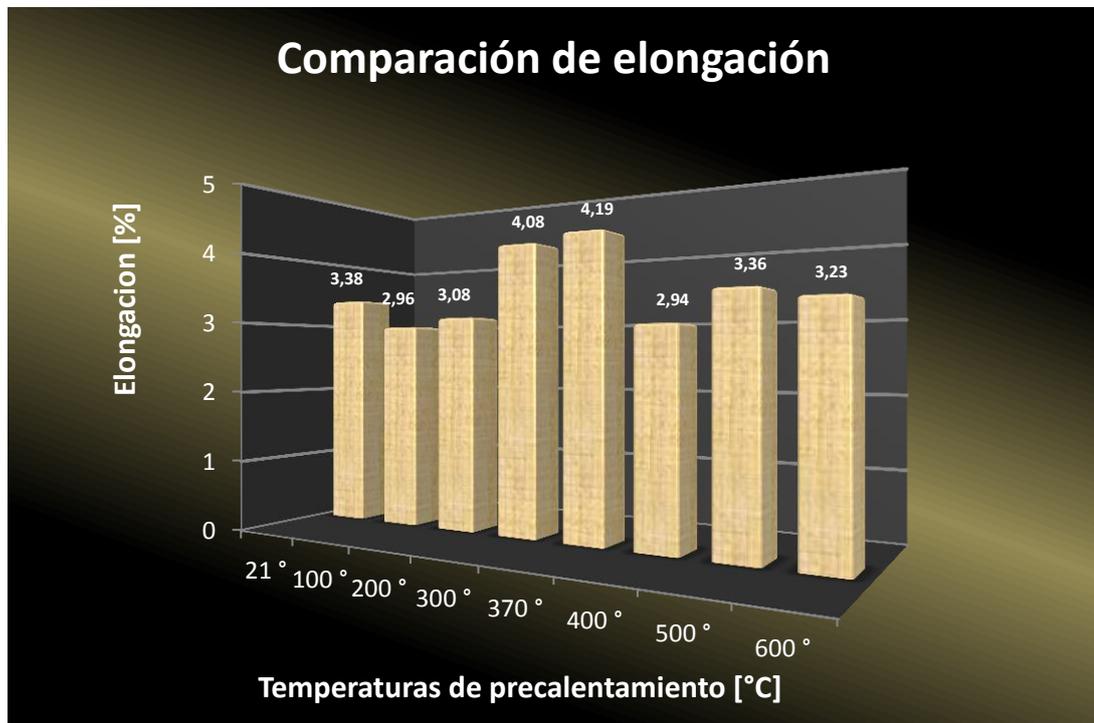


Figura 4. 9 Comparación del % de elongación vs las Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

En la figura 4.9 se observa los resultados del porcentaje elongación obtenidos de los ensayos de tracción de la soldadura con/sin precalentamiento del hierro fundido gris, clase 30, el porcentaje de elongación más alto es de 4.19 % que se obtuvo en las probetas que fueron soldadas con precalentamientos a una temperatura de 370 [°C], en comparación con el porcentaje de elongación menor que es de 2.96 % de obtenidas de las probetas soldadas con precalentamiento a 100 [°C], a medida que la temperatura de precalentamiento aumenta también aumenta una carga máxima que resisten las probetas lo que hace que exista mayores porcentajes de elongación.

▪ **REDUCCIÓN DE ÁREA [%]**

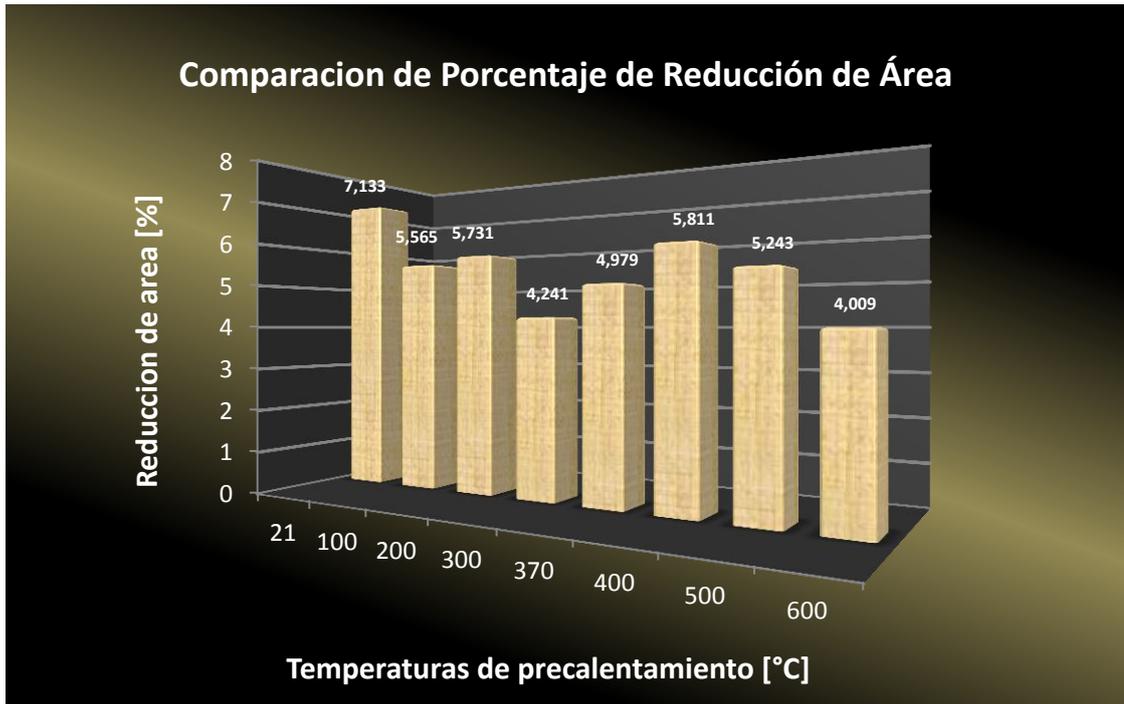


Figura 4. 10 Porcentaje de Reducción de área vs las Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

En la figura 4.10 se muestran los resultados que indican los porcentajes de reducción de área que se registraron en los ensayos a tracción en las probetas soldadas con/sin precalentamiento que tienen un valor promedio de 5.243 %, en la gráfica se registra el porcentaje más alto que se 7.133 % observadas en las soldaduras sin precalentamiento. De la gráfica se puede interpretar que a medida que la temperatura de precalentamiento aumenta, el porcentaje de reducción de área tiene altos y bajos inferiores al porcentaje de las probetas soldadas sin precalentamiento esto debido a la influencia de la carga máxima que resisten las probetas con diferentes temperaturas de precalentamiento, el valor menor de reducción de área es de 4.009 % para las probetas de 600°C.

▪ RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TRACCIÓN [ksi]



Figura 4. 11 Resistencia última a la tracción vs las Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

En la figura 4.11 se muestran la relación que existe entre la aplicación de las temperaturas de precalentamiento y las resistencia última a la tracción (Sut) de las probetas ensayadas, por medio de estos resultados se interpretó que la correcta aplicación de la temperatura de precalentamiento eleva la resistencia ultima a la tracción, el valor más alto de resistencia última a la tracción que se registró en las probetas soldadas fue con 370 [°C] de precalentamiento como muestra la gráfica que es de 30.922 [ksi], en comparación con una soldadura sin precalentamiento que tiene un (Sut) de 14.525 [ksi]; de la gráfica podemos interpretar que la aplicación de la temperatura de precalentamiento tiene una directa influencia en las propiedades mecánicas como lo es en aumentar la resistencia última a la tracción considerablemente ya que es un 50% mayor, lo cual ayuda a la soldadura a tener más resistencia ante los diferentes esfuerzos que tiene que resistir en su vida mecánica.

4.2.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS METALOGRAFICOS

El ensayo metalográfico se lo realizó con la finalidad de estudiar las características estructurales y constitutivas de la junta soldada con/sin precalentamiento a distintas temperaturas, y poder relacionarlas con propiedades mecánicas, algunas de las características estructurales que se analizaron en este estudio fueron forma de grafito, distribución de grafito, y el tamaño de grafito así como la matriz que compone la junta soldada a continuación se presenta tablas que contienen las características antes mencionadas:

- **MATERIAL BASE (MB)**

Tabla 4.14: Resultados de las Propiedades del Grafito, ensayos metalográficos, MATERIAL BASE, a 100X

Temperaturas de precalentamiento [°C]	Clasificación de la Forma de grafito		Distribución de grafito	Tamaño de grafito
	Forma	Tipo		
21	Laminar	VII	A	4
100	Laminar	VII	A	4
200	Laminar	VII	A - B	4
300	Laminar	VII	A - B	3
370	Laminar	VII	A	5
400	Laminar	VII	A	5
500	Laminar	VII	A	3
600	Laminar	VII	A	5

Autor: Oscar Tene

De los resultados expuestos en la tabla 4.14 se realizó la interpretación de los resultados tomando en cuenta las propiedades obtenidas en la zona del material base y la norma ASTM A247 – 98 ‘Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings’, esta parte de la investigación nos permitirá saber que propiedades tiene el grafito en la zona del material base y realizar una comparación de las probetas soldadas con/sin precalentamiento.

Como observamos en la tabla la clasificación de la forma de grafito en todas las probetas soldadas con/sin precalentamiento son de forma laminar y de tipo VII estas características según la norma ASTM A247 – 98 pertenecen a las propiedades del hierro fundido gris.

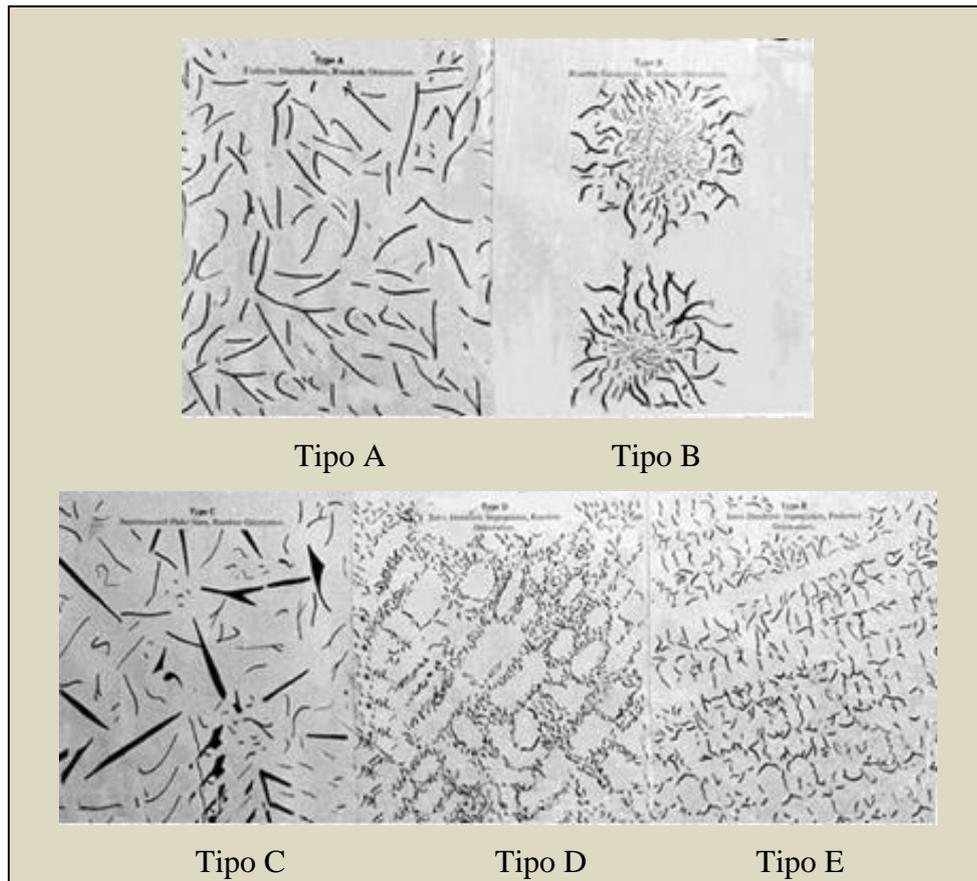


Figura 4.12 Agrupación de grafito
(Fuente: ASTM, 1998, ‘Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings’, Rating Chart

Según la tabla 4.14 se observa los resultados del tipo de distribución de grafito que se obtuvieron de las probetas en la zona del metal base los cuales muestran una distribución de grafito de Tipo A con una distribución uniforme con orientación al azar, así como de Tipo B su agrupación es en forma de rosetas, las probetas soldadas que presentaron una distribución de Tipo A son 21°, 100°, 370°, 400°, 500°, 600° [°C], la agrupación de grafito Tipo A y de tamaño pequeño es la más conveniente ya que estas no fomentan las grietas y el inicio de fisuras cuando el material está sometido a fuerzas externas ya sea en compresión o tracción reduciendo su resistencia y ductilidad obteniendo como resultado la interrupción del material. Hay que mencionar que el enfriamiento lento después de realizar la soldadura ayuda a la distribución del grafito así como el control de las tensiones internas que se puedan originar en la soldadura.

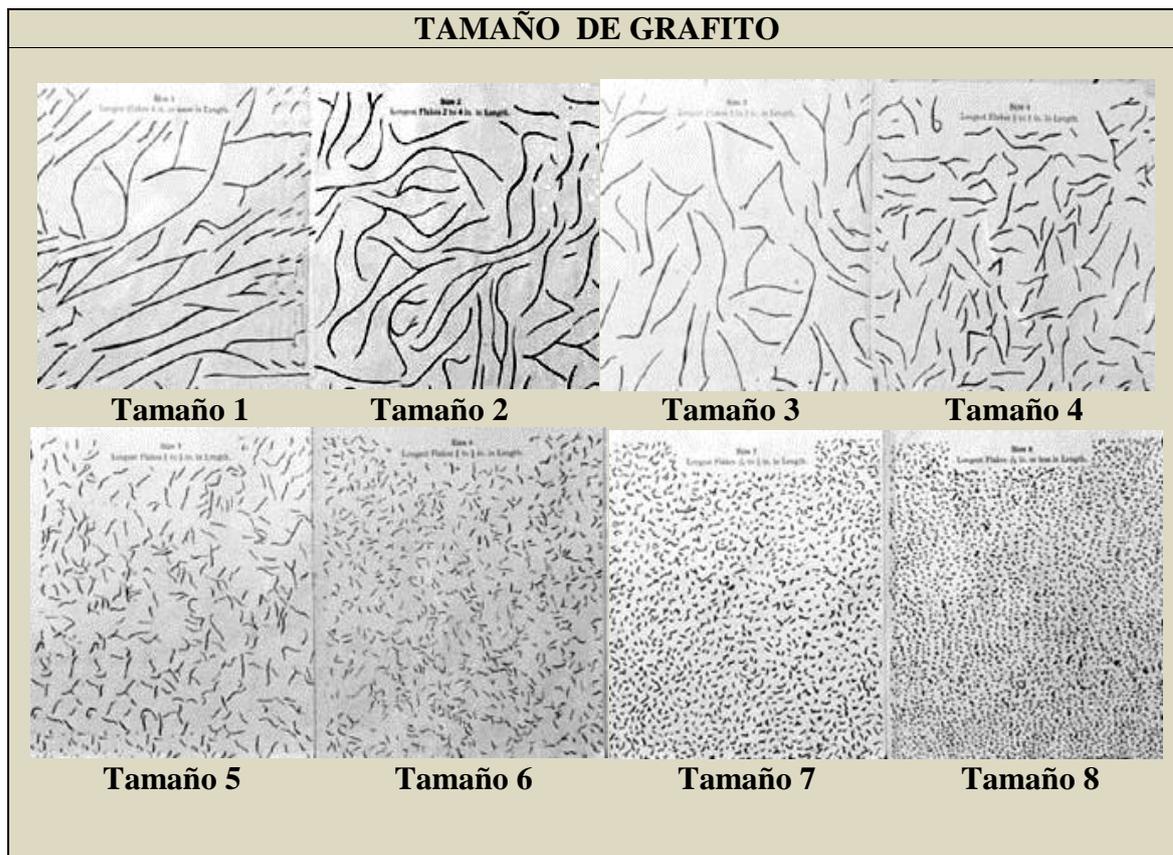


Figura 4.13. Tamaño de grafito

Fuente: ASTM, 1998, ‘Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings’, Rating Chart

Los resultados del tamaño de grafito que se presentan en la tabla 4.14 muestran un tamaño promedio de grafito 4, según los resultados obtenidos mediante software y comparados con la norma ASTM A 247 – 98, se muestran la obtención de grafito de hojuelas medianas, esto como resultado de un retardado enfriamiento que tuvo el material o la influencia de algunos componentes como el silicio que al ser un enérgico grafitizador, si no es balanceado el carbono primario precipita como hojuelas de grafito, ya una vez constituido el carbono como grafito su forma ya no puede alterarse creando así hojuelas de tamaño grande Tipo 1 estas rompen la continuidad de la matriz y generan un efecto concentrador de esfuerzos lo cual explica la baja resistencia y ductilidad de la fundición gris es por eso que es preferible que el grafito tenga una distribución Tipo A y que sea de tamaño pequeño.

▪ **ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA (ZAT)**

Tabla 4.15: Resultados de las Propiedades del Grafito, ensayos metalográficos, ZAT, a 100X

Temperaturas de precalentamiento [°C]	Clasificación de la Forma de grafito		Distribución de grafito	Tamaño de grafito
	Forma	Tipo		
21	Laminar	VII	A	3
100	Laminar	VII	A - B	4
200	Laminar	VII	A - B	4
300	Laminar	VII	A	3
370	Laminar	VII	A	4
400	Laminar	VII	A	4
500	Laminar	VII	A - C	4
600	Laminar	VII	A	4

Elaborado por: Oscar Tene

Después de haber analizado la zona térmicamente afectada en la junta soldada en las probetas con/sin precalentamiento estas mostraron una clasificación de grafito de forma laminar y de tipo VII, la forma de distribución de grafito promedio que se observaron es de tipo A que son las que se prefieren en elementos mecánicos, aunque en temperaturas como 100°, 200°, 500°, se observó también una distribución de grafito tipo B y C agrupación en forma de rosetas y láminas de grafito superpuestas respectivamente, estos cambios de distribución de grafito según bibliografía ya antes mencionada es debido a los cambios brusco de temperatura es decir el proceso de enfriamiento que recibió después de la soldadura, debido a que las probetas de esta investigación fueron enfriadas en arena existe la posibilidad de que las probetas que presentan una distribución diferente a la de tipo A no fueron recubiertas lo suficientemente con arena dejando así que el calor se disipe más rápido originado así estas distribuciones. El tamaño de grafito promedio que se observa # 4 como se muestran en la tabla 4.15, solo las probetas 21°, 300°, exponen un tamaño de grafito #3 lo que quiere decir que tienen un tamaño más grande y son más propensas a originar la discontinuidad de la matriz.

▪ **PORCENTAJES DE LA COMPOSICIÓN DE LA MICROESTRUCTURA**

Mediante software se analizó los diferentes porcentajes que presentan las estructuras de la junta soldada las cuales se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 4.16: Resultados de Porcentaje de Grafito en el Material Base y la ZAT

TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO [°C]	PORCENTAJE DE GRAFITO (%)	
	METAL BASE	ZAT
21	22.2	31.3
100	13.7	19
200	19.9	11
300	14.6	22.4
370	19.4	18.9
400	17.7	11.8
500	11.1	11.5
600	11.1	17.2

Elaborado por: Oscar Tene

Tabla 4.17: Resultados de Porcentaje de la matriz perlítica en el Material Base y la ZAT

TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO [°C]	PORCENTAJE DE MATRIZ FERRITO-PERLÍTICA (%)	
	METAL BASE	ZAT
21	77.8	68.7
100	84.4	81
200	80.1	89
300	85.4	77.6
370	80.6	81.1
400	82.3	88.2
500	88.9	88.5
600	88.9	82.8

Elaborado por: Oscar Tene

Tabla 4.18: Resultados Componentes del Metal Fundido.

TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO [°C]	COMPONENTES DEL METAL FUNDIDO	
	CARBURO	MATRIZ DETRÍTICA
21	24.3	75.7
100	17.8	82.3
200	18.5	81.5
300	30.9	69.1
370	31	69
400	24.7	75.3
500	21.4	78.6
600	16.9	83.1

Elaborado por: Oscar Tene



Figura 4. 14: Porcentaje de Grafito en estructura del Meta Base vs las Temperaturas de precalentamiento. **Elaborado por:** Oscar Tene

La gráfica muestra que las probetas soldadas sin precalentamiento (21° C), estas obtuvieron el porcentaje más elevado del 22.20% de grafito en la composición de la estructura en la zona del metal base en relación a todas las probetas soldadas con precalentamiento, el porcentaje de grafito depende del tamaño del grafito y su distribución, las probetas que presentaron el menor porcentaje fueron las probetas soldadas con precalentamiento a 500 °C y 600 °C, los porcentajes de Grafito disminuyen en las temperaturas ya antes mencionadas.

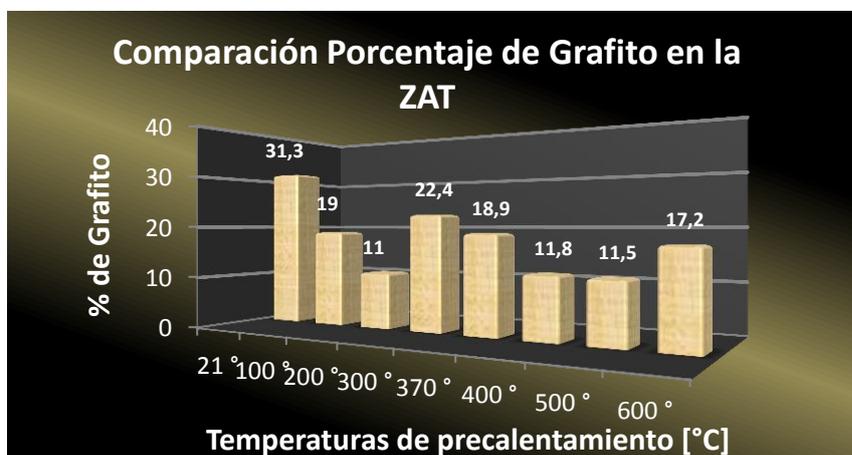


Figura 4. 15: Porcentaje de Grafito en estructura de la ZAT vs las Temperaturas de precalentamiento **Elaborado por:** Oscar Tene

En el gráfico observamos el porcentaje de grafito más elevado que se registraron en las probetas soldadas sin precalentamiento con un 31.3 % de grafito y un mínimo de 11 % en las probetas soldadas con precalentamiento a 300 °C.

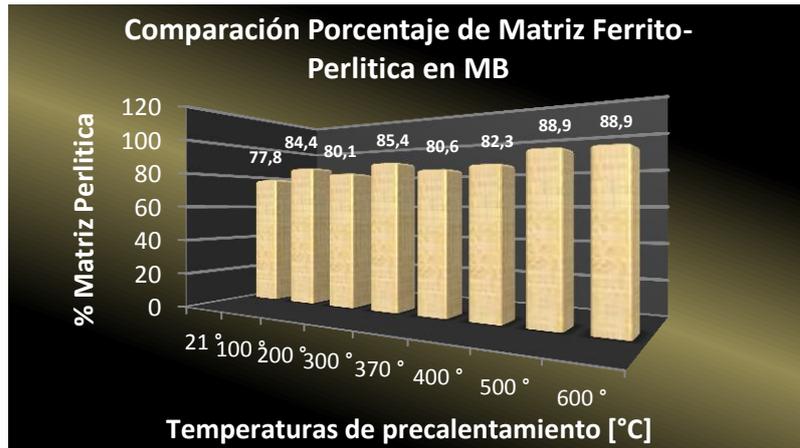


Figura 4. 16: Porcentaje de Matriz Ferrito-Perlítica en el Material Base vs las Temperaturas de precalentamiento. **Elaborado por:** Oscar Tene

La figura muestra que el porcentaje de la matriz ferrito-perlítica que se obtuvieron de las probetas soldadas en la zona del material base con/sin de precalentamiento siendo la temperaturas de 500 °C y 600 °C que muestran mayor presencia de la matriz ferrito-perlítica con 88.9 %, en relación a las probetas soldadas sin precalentamiento que obtuvieron un 77.8 % de presencia de la matriz ferrito-perlítica el aumento es en un 11.1 %. De los resultados se interpreta que a mayor aplicación de la temperatura de precalentamiento mayor presencia de la matriz.

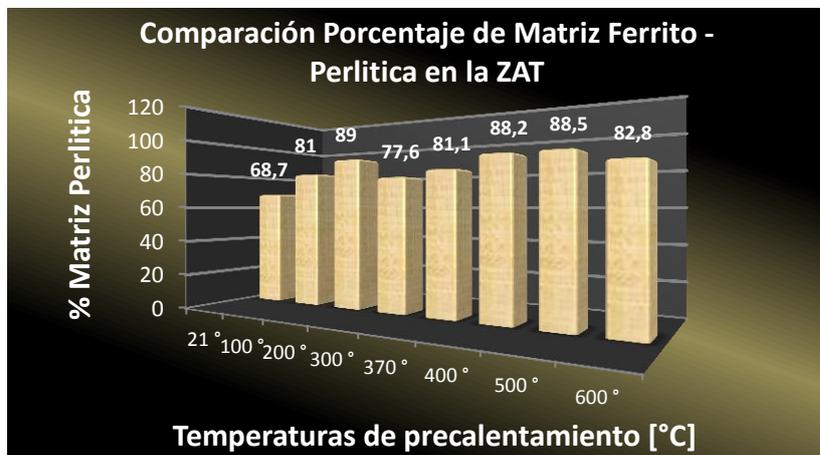


Figura 4. 17: Porcentaje de Matriz Ferrito-Perlítica en la ZAT vs las Temperaturas de precalentamiento. **Elaborado por:** Oscar Tene

De la figura 4.17 observamos que el porcentaje más elevado que se registró con 89% en las probetas soldadas con precalentamiento a 300 ° C y es mayor que la las probetas soldadas sin precalentamiento que es de 68.7% en las probetas soldadas sin precalentamiento.

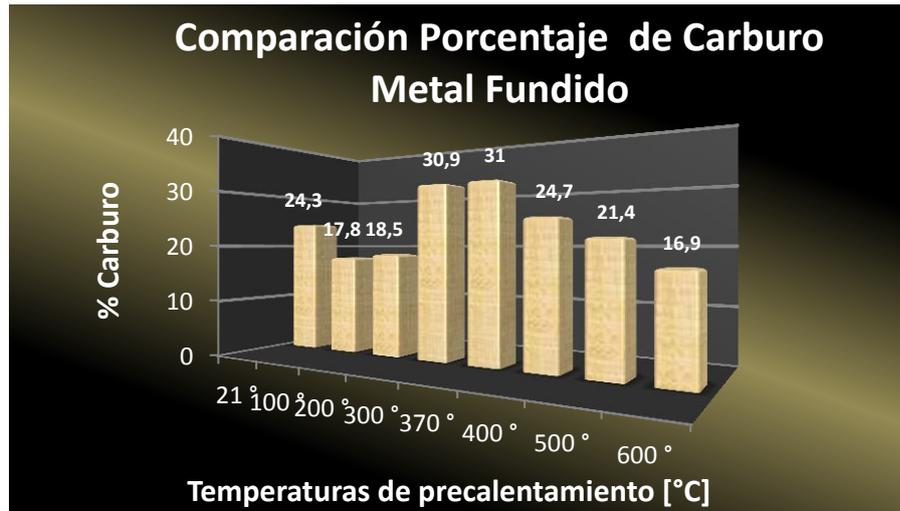


Figura 4. 18: Porcentaje de Carburo en el Metal Fundido vs las Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

La figura 4.18 muestra que el valor los porcentajes más elevados que se obtuvo de Carburo Primario en la microestructura del material aporte de 31 % en las probetas soldadas con precalentamientos entre las temperaturas de 300° y 370° C después de este rango de temperaturas el Porcentaje de carburo disminuye alcanzando un valor menor de 16.9 % en las piezas soldadas con precalentamiento con un temperatura de 600 °C.

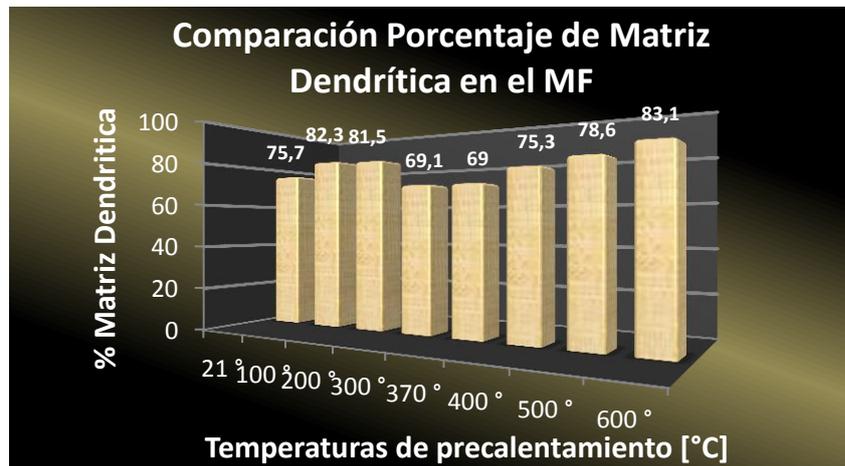


Figura 4. 19: Porcentaje de Matriz Dendrítica en el Metal Fundido vs Temperaturas
Elaborado por: Oscar Tene

La figura nos muestra un 83.1 % como el valor más alto obtenido de matriz dendrítica en las probetas soldadas con precalentamiento a 600°C y un valor menor de 69% en las probetas precalentadas en 370° y 400° C.

4.2.3 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

El ensayo de dureza se lo realizo para conocer la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro en las zonas de la junta soldada, la dureza fue medida desde el centro con un espacio de 4 mm bajo la norma ASTM E18-08 y los valores tabulados fueron de en las zonas del Material Base, Intercara, Zona Térmicamente Afectada y Metal Fundido, para la interpretación de datos se tomaron los valores promedios de los resultados en las zonas del Material Base y Metal Fundido.

Tabla 4.19: Resultados de Dureza [HB] en la junta soldada

DETALLE		NOMENCLATURA			
		MA: Metal fundido INTR.: Intercara. ZAT: Zona Térmicamente Afectada MB: Metal base			
Temperaturas de precalentamiento [°C]	DUREZAS DE JUNTA SOLDADA [HB]				
	Metal fundido	Intercara	ZAT	Metal Base	
21	139.1	209	148	148	
100	132.6	228	209	190	
200	128.7	249	219	189	
300	123.0	219	218	194	
370	135.1	238	209	196	
400	128.2	171	139.8	138	
500	135.2	210	190	189	
600	141.4	213.5	207.8	202	

Elaborado por: Oscar Tene

En la tabla 4.19 se observa que la dureza máxima obtenida en la presente investigación es de 249 HB en zona de la intercara de junta soldada as probetas soldadas con la temperatura de precalentamiento de 200 ° C. De los resultados tabulados se realizaron gráficos de columna para analizar la dureza en las diferentes zonas de la junta soldada



Figura 4.20: Metal Fundido, Dureza HB vs Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

Figura 4.20 muestra la dureza más alta registrada en la zona de Metal Fundido de las probetas precalentadas a 600 °C que es de 141.4 HB, en relación con las probetas que fueron soldadas sin precalentamiento 21°C son 1.6% mayor, ya que su dureza es de 139.1 HB. La figura también muestra el valor menor de 123 HB que pertenece a las probetas precalentadas a 300 °C previo a la soldadura.

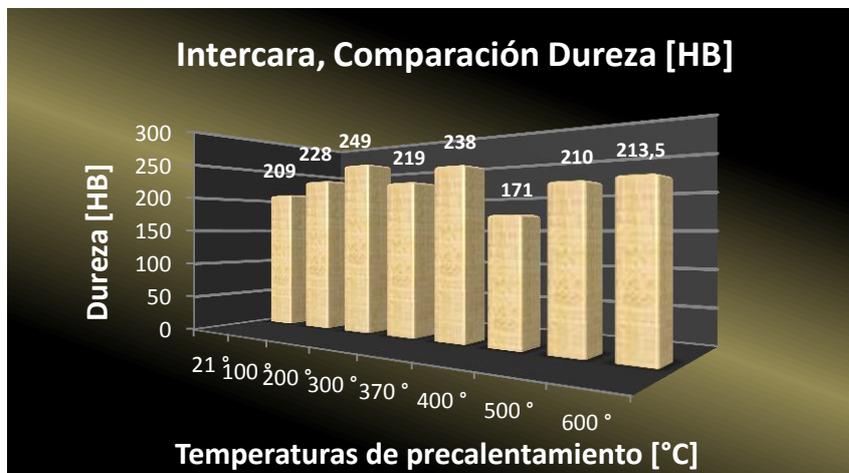


Figura 4. 21: Intercara, Dureza HB vs Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

La grafica que se analiza muestra los resultados de las durezas más elevadas que se registraron en la investigación estos en la zona de la intercara, la dureza más elevada se obtuvo en las probetas soldadas con precalentamiento a 200 °C siendo de 249 HB, en comparación con las probetas en frio las probetas con precalentamiento a 200°C tienen 40 HB mayor de dureza, ya que su dureza es de 209 HB.



Figura 4. 22: ZAT, Dureza HB vs Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

En la figura 4.22 se puede observar que la soldadura con unas temperaturas de precalentamiento 200 ° C en la zona de la ZAT tiene una dureza de 219 HB es mucho mayor que las probetas soldadas sin precalentamiento a 21 ° C ya que su dureza es de 148 HB. La dureza aumenta con la temperatura de precalentamiento en la ZAT.

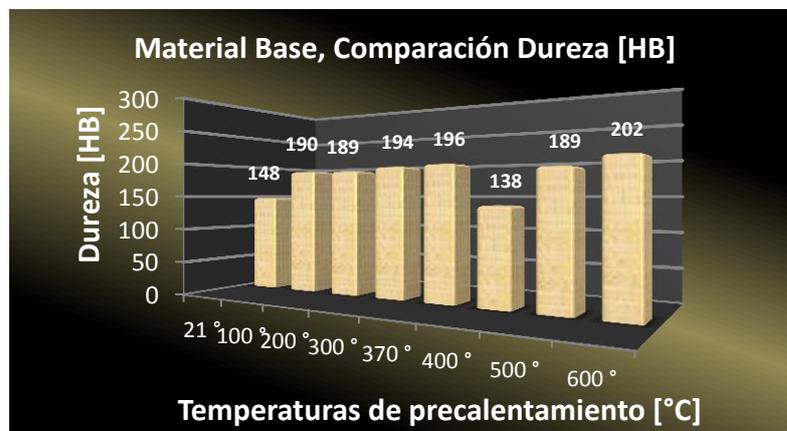


Figura 4. 23: Material Base, Dureza HB vs Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

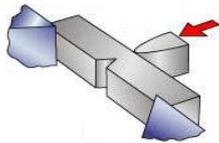
En la figura se muestra que la dureza más alta obtenida en la zona del material base entre todas las probetas que es de 202 HB que pertenece a las probetas soldadas con precalentamiento a 600 ° C, la dureza es mayor en relación a las probetas soldadas sin precalentamiento, la dureza aumenta con el precalentamiento; solo las probetas precalentadas a 500°C presentan durezas menores entre 128 – 171 HB en todas las zonas.

4.2.4 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO

Los ensayos de resiliencia o impacto se los realizo para determinar, la tenacidad o capacidad de un material de absorber cargas instantáneas, para inducir a la probeta a la fractura de un solo impacto en una unidad de área, para obtener lo que se denomina resistencia del material al impacto.

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados en las probetas soldadas con/sin de precalentamiento, para realizar el ensayo de impacto se tomó como referencia las normas AWS B4.0-07, ASTM E-23, INEN 130. Para el análisis de resultados se utilizó los valores promedio de los parámetros de cada ensayo.

Tabla 4.20: Resultados: ensayo de impacto de las juntas soldadas con/sin precalentamiento.

Detalle de probeta		Probeta ensayada	
			
		Probeta soldada con precalentamiento 370 °C	
Temperaturas de precalentamiento [°C]	Energía de impacto [Joule]	Resistencia al impacto [Joule/cm ²]	Tipo de fractura
21	1.78	2.225	Frágil
100	9.40	11.75	Frágil
200	14.70	18.375	Frágil
300	27.10	33.875	Frágil
370	27.80	34.75	Frágil
400	22.40	28	Frágil
500	22.30	27.87	Frágil
600	11.80	14.75	Frágil

Elaborado por: Oscar Tene

La tabla 4.20 muestra los resultados del ensayo de resiliencia en las probetas soldadas sin/con precalentamiento, en la tabla se observa la energía y la resistencia de impacto máximas que son de 27.8 [J] y 34.75 [J/cm²] a 370°C respectivamente, estos resultados evidentemente son superiores que las probetas soldadas sin precalentamiento. El tipo de fractura es frágil con una característica brillante y cristalina con muy poca deformación. A continuación se analiza graficas de columna con los resultados obtenidos.

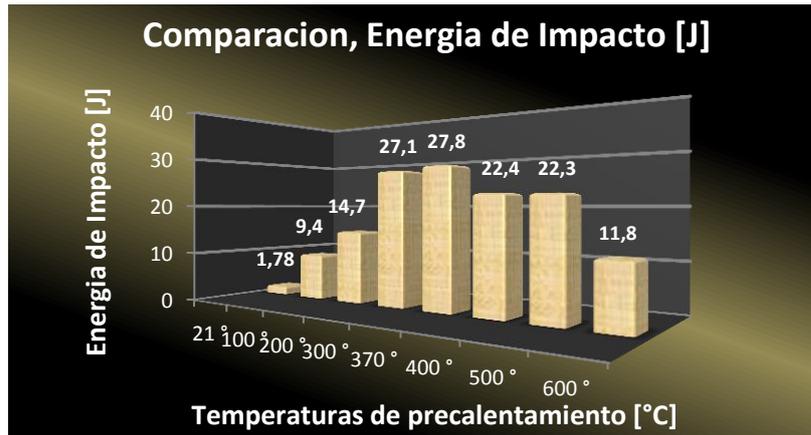


Figura 4. 24: Energía de Impacto vs Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

La figura muestra el promedio de la energía de impacto que absorbieron las probetas a diferentes temperaturas de precalentamiento, la máxima energía de impacto registrada se localizó en las probetas precalentadas de 300° y 370°C siendo 27.8 [J], la diferencia es superior si comparamos con las probetas soldadas sin precalentamiento. Las probetas absorben más energía de impacto a medida que las temperaturas de precalentamiento son superiores y es aplicada previo a la soldadura.

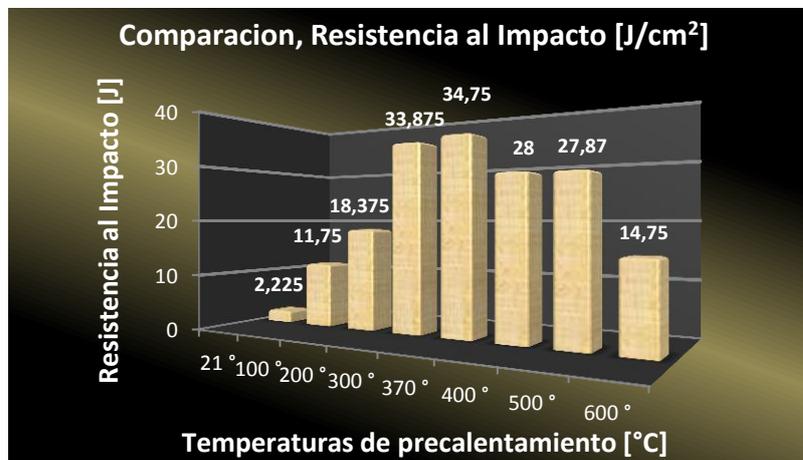


Figura 4. 25: Resistencia al impacto vs Temperaturas de precalentamiento
Elaborado por: Oscar Tene

La figura muestra la resistencia al impacto promedio que se obtuvieron de los ensayos, la máxima resistencia al impacto que se registro fue de 34.75 [J/cm²] perteneciente a las probetas precalentadas con 370°C, como se observa en la figura la resistencia se eleva con el precalentamiento adecuado en relación con las probetas soldadas sin precalentamiento.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Hipótesis: La selección adecuada de la temperatura de precalentamiento en el procedimiento de soldadura SMAW en el hierro gris permitirá mejorar las propiedades mecánicas de la junta soldada.

Comprobación

Mediante el estudio realizado a las propiedades mecánicas de la junta soldada aplicando diferentes temperaturas de precalentamiento, se alcanzó a determinar la influencia del precalentamiento en las propiedades mecánicas de la junta soldada.

4.3.1 Influencia de la temperatura de precalentamiento en la resistencia a la tracción.

Para la evaluación de la temperatura de precalentamiento se realizó 35 ensayos a tracción en probetas soldadas con diferentes temperaturas de precalentamiento y 5 ensayos sin la aplicación de precalentamiento, los resultados registrados son los siguientes:

Tabla 4.21: Comparación temperaturas de precalentamiento vs resistencia ultima a la tracción (Sut).

Temperaturas de precalentamiento [°C]	Resistencia ultima a la tracción [ksi]
21	14.525
100	16.867
200	23.226
300	30.096
370	30.922
400	27.562
500	26.636
600	21.534

Elaborado por: Oscar Tene

Con los resultados de la tabla 4.21 verificamos que a medida que aumentamos la temperatura de precalentamiento la resistencia última a la tracción (Sut) empieza a cambiar, observamos que la temperatura que se consideró adecuada es 370 °C que fue calculada mediante el porcentaje de carbono equivalente de la fundición registró resistencia a la tracción promedio de 30.922 [ksi] entre todas las probetas sometidas a estudio, pero además se observó la resistencia a la tracción aumenta en un rango de temperatura de 300 °C a 370 °C sustentando la Hipótesis, en comparación con las probetas soldadas sin precalentamiento la resistencia última a la tracción tiende a aumentar.

El porcentaje de elongación se incrementa con la aplicación de la temperatura de precalentamiento en un rango 300° y 370 °C, lo que se puede verificar en las figuras 4.9, como se observó el porcentaje de elongación es proporcional a la resistencia última a la tracción.

4.3.2 Influencia de la temperatura de precalentamiento en propiedades del grafito.

La influencia del precalentamiento en las propiedades del grafito es considerable ya que el tamaño y la distribución de grafito pueden influir en la resistencia última a la tracción, al analizar las microestructuras y observar que una de las propiedades es ser un grafito laminar de tipo VII también es necesario conocer la distribución y el tamaño de grafito ya que según estudios antes realizados, si las láminas de grafito son de tamaño grande y poseen una distribución no uniforme, estas pueden producir agrietamiento y disminuir su resistencia.

A continuación se presenta una tabla comparativa entre las propiedades en la zona del material base y la zona térmicamente afectada

Tabla 4.22: Comparación, Resultados de las Propiedades del Grafito a 100X

Temperaturas de precalentamiento [°C]	Propiedades del grafito en Material Base		Propiedades del grafito en la Zona Térmicamente Afectada	
	Distribución	Tamaño	Distribución	Tamaño
21	A	4	A	3
100	A	4	A-B	4
200	A-B	4	A-B	4
300	A-B	3	A	3
370	A	5	A	4
400	A	5	A	4
500	A	3	A-C	4
600	A	5	A	4

(Autor: Oscar Tene)

Las temperaturas 370°, 400°, 600° C, presentaron las mejores propiedades dentro de esta investigación, un tamaño de grafito pequeño y un tipo de distribución tipo “A”, la temperatura de precalentamiento a 370°C aporta buenas propiedades en el estudio.

4.3.3 Influencia de la temperatura de precalentamiento en la matriz ferrito - perlítica

Los porcentajes de matriz perlítica que se registraron en las probetas soldadas con/sin precalentamiento mostraron un promedio de 84% en la zona del metal base siendo 88.9% los porcentajes máximos tabulados en las probetas soldadas con precalentamiento a 500° y 600°C comparando con 77.8% en las probetas soldadas sin precalentamiento como se observa en la figura 4.16, observamos como el porcentaje de la matriz ferrito - perlítica aumenta con el precalentamiento. La temperatura de investigación de 370°C muestra un porcentaje de 80.6%, este porcentaje es bajo en relación al promedio.

Mientras que la zona térmicamente afectada presento un valor promedio de 84% de matriz ferrito-perlítica, este valor nos da una interpretación de la presencia un aumento de la matriz ferrito-perlítica con el precalentamiento en relación a un 68 % que presentan las probetas soldadas sin precalentamiento.

Hay que mencionar que la perlita es el producto de una transformación eutectoide que en el hierro gris, consiste en láminas intercaladas de ferrita y cementita. Esta posee mayor dureza y resistencia a la tracción que la ferrita pero su ductilidad es más baja. La dureza y la resistencia a la tracción asociada a la perlita dependen principalmente del espaciado interlaminar entre la ferrita y la cementita. Los valores más altos corresponden a la perlita con espaciado interlaminar fino.

4.3.4 Influencia de la temperatura de precalentamiento en la dureza de la junta soldada.

La dureza que se registrada nos muestra cómo se comporta la junta soldada ante la aplicación de la temperatura de precalentamiento y como se observa en la tabla 4.19 la dureza aumenta con la aplicación de la temperatura de precalentamiento siendo 249 HB la máxima dureza registrada en las probetas precalentadas a 200°C, la dureza máxima que presenta la temperatura de precalentamiento de 370°C es de 238 HB y una mínima de 135.1 HB en la zona del metal fundido, la dureza varía según la aplicación del precalentamiento esto debido a la velocidad de enfriamiento que tuvo la junta soldada .

4.3.5 Influencia de la temperatura de precalentamiento en la resistencia al impacto de la junta soldada.

Cuando una junta soldada se somete a un golpe repentino o violento donde la velocidad de deformación es extremadamente rápida, se puede comportar en una forma mucho más frágil que la que se observó en el ensayo de tracción, en las figuras 4.24 y 4.25 se puede observar la energía de impacto y la resistencia al impacto de las juntas soldadas con/sin la aplicación de precalentamiento, las figuras muestran el incremento significativo en las probetas soldadas con precalentamiento a 300 °C y 370 °C siendo esta última la temperatura de estudio calculada en base al porcentaje de carbono equivalente con lo cual se sustenta la hipótesis mejorando así la propiedad de

la resistencia al impacto y aumentado la energía que el material puede absorber ante el impacto.

Con los resultados mencionados y el análisis realizado, se deja en evidencia que existe un rango de temperatura de precalentamiento de 300 °C y 370 °C que mejoró las propiedades mecánicas de la junta soldada, siendo esta última temperatura la que mostro las mejores propiedades empezando por una microestructura en el metal base y en la zona térmicamente afectada de distribución Tipo “A“, y un tamaño de grafito 5 y 4 respectivamente, estos factores influyen en la resistencia ultima a la tracción que fue de 30.922 [ksi] superior a las demás, fijándonos en otra propiedad mecánica la dureza no obtuvo resultados altos que no permitan maquinar las probetas después de la soldadura y por último la capacidad de absorber energía y la resistencia al impacto en la junta soldada fue observada dando como resultado los valores más altos en los rangos de temperatura antes mencionados, en relación directa entre dos propiedades de la junta soldada se realizó una gráfica donde se puede observar lo antes expuesto “verificando la hipótesis”.

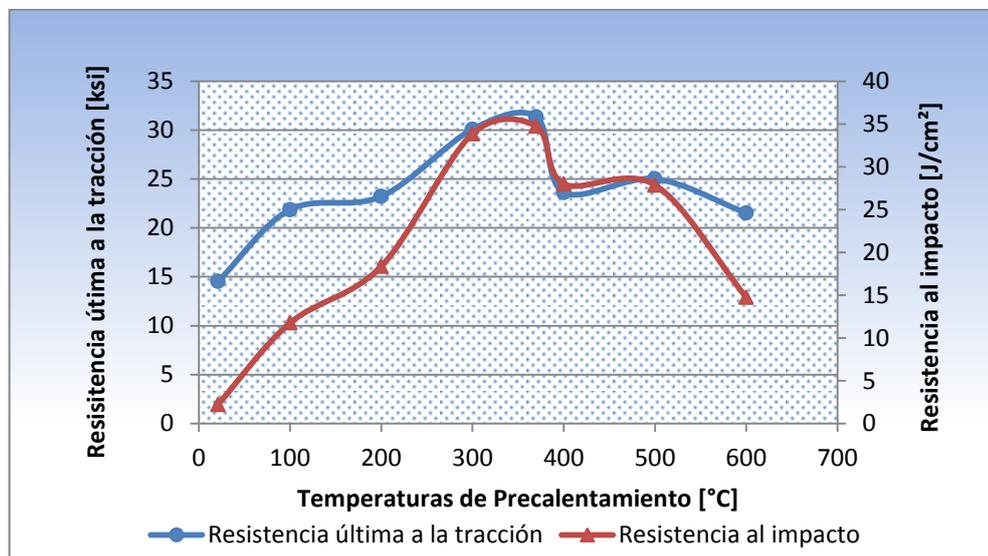


Figura 4.25: Relación entre Sut [ksi] vs Resistencia al impacto [J/cm²]

Autor: Oscar Tene

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha analizado el factor de precalentamiento previo a la soldadura, basados en la caracterización del material y su influencia en las propiedades mecánicas de la junta soldada en el hierro gris, así como el comportamiento en el proceso de soldadura y post soldadura. Se realizaron ensayos mecánicos de: microestructura, resistencia a la tracción, impacto y dureza; así como el análisis del procedimiento de soldadura de las probetas sometidas a diferentes temperaturas de precalentamiento.

Las conclusiones del estudio son las siguientes:

- ✚ La determinación de las propiedades del hierro fundido gris mediante la caracterización, permitió establecer parámetros antes de realizar el proceso de soldadura SMAW.
- ✚ La naturaleza porosa del hierro permite la absorción de la grasa, aceite y otros contaminantes que se gasifican a temperaturas de la soldadura, estos gases que se desprenden crean poros en el metal de soldadura, resultando en una soldadura frágil y en una mayor vulnerabilidad a los esfuerzos por tensión.
- ✚ Normalmente cuando se está soldando, el hierro fundido gris puede expandirse con el calor de aporte de la dilución del electrodo, esto debido al alto amperaje utilizado para la soldadura que se ve directamente influenciado con el diámetro del electrodo y el tipo de la geometría de la junta a ser soldada, lo cual puede originar tensiones multiaxiales y por consiguiente fisurar el material.

- ✚ Es de suma importancia conocer los componentes químicos que permitan evaluar su influencia en la temperatura de precalentamiento dentro del proceso de soldadura
- ✚ Mediante el estudio del cálculo del porcentaje del carbono equivalente que fue 4.77% e basados en la composición de los porcentajes de: carbono, fosforo, azufre, manganeso, cromo, níquel, cobre, se adaptó una temperatura de precalentamiento de 370°C mediante un diagrama de no agrietamiento, para que mediante la aplicación de la temperatura adecuada de precalentamiento y otras temperaturas evaluadas por bibliografía poder evaluar la mejor alternativa.
- ✚ Es de suma importancia la preparación de la junta soldada que debe hacerse al metal base antes de aplicar el proceso de soldadura, el espesor del material base y la elección del material de aporte influirán en el diseño de la junta y finalmente en el rendimiento en su servicio.
- ✚ En secciones de la junta soldada con precalentamiento las altas durezas que se originaron en el cordón de soldadura o en las zonas afectadas por el calor se determinó según la investigación que guardan una relación con el ritmo de enfriamiento.
- ✚ Así como puede expandirse mientras se realiza la soldadura, el material base también puede contraerse con el aire frío circundante, o debido al tipo de enfriamiento que se le puede dar postsoldadura, lo cual puede originar tensiones, las mismas que tienden a superar la resistencia tensil del hierro fundido y por su propia naturaleza quebradiza, el hierro fundido (material base) o la soldadura terminan por agrietarse.
- ✚ En la zona afectada térmicamente (ZAT) en las probetas que fueron soldadas sin precalentamiento o con temperaturas inferiores a 300°C y 370°C, su estructura se ve afectada y varía sus diferentes propiedades ya que en esta zona por el sobrecalentamiento las láminas de grafito tienden a ser más gruesas perdiendo así ductilidad y en especial disminuyendo su resistencia.

- ✚ Del ensayo a tracción en las soldaduras se pudo investigar y concluir que las juntas soldadas que están expuestas a cargas de fatiga deben tener siempre una penetración completa, ya que las soldaduras que no tengan una penetración completa o una fusión en la raíz, estas pueden actuar como una grieta y propagarse bajo fatiga e interrumpir la continuidad del material.
- ✚ Las propiedades y características del material base cambiaron con la aplicación de la temperatura de precalentamiento y la temperatura durante la soldadura combinados estos con la rapidez de enfriamiento que pudo tener el material al ser enfriado en arena, estos factores produjeron en algunos casos propiedades que no son deseables en las estructuras, mientras que la temperatura que estuvo siendo monitoreada y que fue calculada en base al porcentaje de carbono equivalente mostro las mejores propiedades en los ensayos de tracción, impacto y microestructura.
- ✚ La resistencia a la tracción de las juntas soldadas varia a medida que la aplicación de la temperatura de precalentamiento aumenta, y se comprobó que en un rango de temperatura de 300 °C y 370 °C la resistencia ultima a la tracción es de 30.096 y 30.922 [ksi] respectivamente, el aumento es en un 50% en relación a las probetas soldadas sin precalentamiento que fue de 14.525 [ksi], el porcentaje de carbono equivalente es muy importante dentro de un proceso de soldadura con precalentamiento para poder determinar la temperatura adecuada o un rango al cual debe someterse el material y obtener mejores propiedades, sobrepasado la temperatura de precalentamiento adecuada la resistencia a la tracción tiende a disminuir muy poco.
- ✚ Atraves de la presente investigación fue posible evaluar las microestructuras de las probetas soldadas a diferentes temperaturas de precalentamiento, siendo la temperatura de 370 °C que registró las mejores características con una forma de grafito laminar, tipo VII y una distribución de grafito tipo A, con tamaño 4 en la zona de la ZAT y de tamaño 5 en el material base, estas propiedades ayudan a la resistencia a la tracción.

- ✚ Una de las principales propiedades de la junta soldada es la dureza, con el presente estudio se logró determinar que la relación entre la varilla interior del electrodo, su revestimiento y la fusión con el material base eliminan la formación de puntos extremadamente duros en la soldadura, el endurecimiento cercano a la zona de la soldadura con las temperaturas de precalentamiento aplicado permiten el mecanizado de la microestructura del grafito adyacente al cordón de la soldadura.
- ✚ El porcentaje de la matriz Ferrito-Perlítica en la junta soldada aumentó con la aplicación de la temperatura de precalentamiento, se registró que la temperatura de 370°C obtuvo un porcentaje de 80.6% y 81.1% en las zonas del metal base y la zona térmicamente afectada respectivamente.
- ✚ En la matriz ferrito-perlítica que se observa en las microestructuras el grafito está rodeado de una aureola blanca de ferrita, esta matriz es probable por el alto porcentaje de carbono y de silicio que contiene el material base según el análisis químico.
- ✚ Mediante los resultados de la matriz se observa que estructura son láminas de grafito insertas en una matriz ferrito-perlítica, ya que si la matriz fuera tan solo de tipo ferrítica sería mayor la cantidad de grafito, puesto que la ferrita apenas disuelve el carbono; si por el contrario la matriz sería solo de tipo perlítico será menor la cantidad de carbono libre puesto que habrá una parte del carbono que se une a otra de hierro formando la cementita que constituye el conjunto perlítico.
- ✚ Las temperaturas de precalentamiento de 300°C y 370°C registraron una resistencia al impacto alta en relación a todas las temperaturas ensayadas, resistencia al impacto fue de 33.875 [Joule/cm²] y 34.75 [Joule/cm²] respectivamente en las temperaturas antes mencionadas, mientras que las probetas soldadas sin precalentamiento ofrecen una resistencia al impacto de 2.225 [Joule/cm²], la diferencia es notable; la utilización del precalentamiento en la junta soldada aumenta la capacidad de absorber energía y por ende tiene una resistencia al impacto mayor.

- ✚ El precalentamiento a temperaturas superiores a 300 °C (572 °F) disminuye la velocidad de enfriamiento y la formación de martensita es minimizada, reduciendo la tendencia de la fundición a agrietarse y el enfriamiento lento ayuda a minimizar las tensiones residuales.
- ✚ En las temperaturas menores a 300 °C según los ensayos realizados y la bibliografía analizada se determinó que el calor que transmiten los electrodos en el proceso de soldadura conjuntamente con el flujo esporádicamente del metal de aporte hacen que parte de las escamas de carbono o grafito se disuelvan en el hierro, el enfriamiento del aire circundante y la disipación en la zona que rodea al metal base da lugar a la cristalización de dichas partículas de carbono, estas terminan por formar una estructura muy dura y difícil de mecanizar posiblemente martensita.
- ✚ Como se observa en la tabla 4.23 las probetas soldadas con una temperatura de precalentamiento de 370 °C presenta un mejoramiento en sus propiedades mecánicas de la resistencia a la tracción, Dureza, energía de impacto así como sus propiedades metalúrgicas que se presentaron en el capítulo IV (Pag. 220).

Tabla 5.1: Comparación de las propiedades de los elementos de investigación

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.				
	Resistencia a la tracción (Kpsi)	Dureza (HB)	Energía de Impacto (Joule)	Estructura metalográfica
Material Base	27.30	142.93	15	Ferrito-Perlítica
Material de Aporte	35 - 45	190 - 230	--	Matriz detrítica de níquel.
Soldadura sin Precalentamiento	14.52	209	1.78	Ferrito Perlítica
Soldadura con Precalentamiento a 370° C	30.92	209	27.80	Ferrito Perlítica

Autor: Oscar Tene

5.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Si se desconoce el tipo de hierro gris a ser soldado, es recomendable realizar un examen de una zona representativa de la fundición del hierro gris bajo el microscopio, esto nos indicara su estructura brindándonos mayor información del material previo a la soldadura.
- ❖ Para realizar la soldadura del hierro fundido, el primer paso es la identificación o determinación del tipo o grado del material base a ser soldado, ya que cada fundición gris de diferentes grados poseen propiedades características, que podrían influir en el proceso de soldadura.
- ❖ Para efectuar una soldadura por arco eléctrico de una fundición gris clase 30, con matriz ferrito-perlítica empleando un electro con base níquel tipo AWS ENi-CI; se recomienda el uso de una temperatura de precalentamiento de 370 °C.
- ❖ Es recomendable realizar un análisis químico, esto ayudara a conocer las propiedades del material base y determinar un rango de temperatura de precalentamiento en el procedimiento de soldadura SMAW en el cual se disminuirá las probabilidades de agrietamiento de la soldadura, y presentara mejores propiedades mecánicas.
- ❖ Se recomienda que para que exista una buena soldabilidad se debe tener en cuenta que el procedimiento de soldadura que se va a seguir sea el adecuado.
- ❖ La preparación del hierro fundido gris antes de soldar es muy importante, por lo cual se recomienda la pieza este limpia de grasas, aceites, agua, humedad, oxido, corrosión, arena, pintura u otros materiales extraños que interfieran en el proceso de soldadura u originen combustión inflamable.
- ❖ Antes de la aplicación de la soldadura es esencial preparar la junta especialmente el biselado, se recomienda utilizar las recomendaciones que hace la norma AWS D11.2 para el diseño de la junta para hierros fundidos según su espesor.

- ❖ Al mecanizar los especímenes y preparar la junta, estas deben realizarse cuidadosamente sin calentar el material así no afectaremos su microestructura antes de soldarlo y no fatigaremos al material térmicamente.
- ❖ No soldar sobre aristas vivas (bordes afilados), con salpicaduras, o superficies irregulares, antes deben eliminarse ya que el calor intenso desprendido por el arco terminara por derretir las aristas vivas formando carburos de hierro con alta probabilidad terminaran siendo puntos duros.
- ❖ Se recomienda que los electrodos a ser utilizados en la soldadura del hierro fundido gris deben considerarse en base a los requisitos de soldadura apropiados para el material base, que ofrezcan una composición y propiedades mecánicas optimas, estos están especificados en la norma AWS A5.15 diseñados específicamente para soldaduras de hierro fundido.
- ❖ En el proceso de soldadura es recomendable depositar cordones de soldadura cortos.
- ❖ Utilizar equipos de seguridad como: guantes, mascarilla, pinzas, mandil, casco de soldar, que nos permitan resguardar nuestra integridad en el proceso de precalentamiento del material a soldar y en el proceso de soldadura SMAW.
- ❖ Se recomienda informarse en las MSDS Hojas de Seguridad de los electrodos, (ver anexo A3): la identificación del producto, la identificación de riesgos del producto, la composición química, ingredientes que fueron utilizados para realizar el material, medidas de primeros auxilios ante el peligro que este produzca ante la exposición, información toxicológica, protección personal que se debe ocupar y medidas de manipulación y almacenamiento.
- ❖ Es recomendable mantener los electrodos a ser utilizados almacenados en lugares o sitios protegidos por el contacto con la humedad.
- ❖ En los ensayos mecánicos de: tracción, dureza, impacto y microestructura, en la determinación de las propiedades se debe verificar la calibración de los equipos antes de utilizarlos para obtener medidas reales que nos permitan analizar de mejor manera sus propiedades.

- ❖ Para realizar los ensayos metalográficos y de dureza, las probetas deben ser la más niveladas posible para obtener mejores resultados de las fotografías en el microscopio y obtener datos más exactos en el durómetro.
- ❖ En los ensayos metalográficos se recomienda utilizar los reactivos cuidadosamente y determinar el tiempo de aplicación y el tipo de reactivo según el material a ser analizado, así no quemaremos la superficie y obtendremos mejores resultados de sus microestructuras.
- ❖ Antes de realizar los ensayos de dureza, se recomienda conocer cuáles son los parámetros establecidos bajo norma para la dureza a ser aplicada.
- ❖ Es recomendable que todos los ensayos realizados sean supervisados por las personas responsables de las máquinas a utilizar, así realizaremos los ensayos de manera correcta.
- ❖ Para realizar el control de temperatura en la etapa de precalentamiento se recomienda utilizar equipos calibrados y certificados con un rango de medición superior al que va ser utilizado; uno de los equipos recomendados en pirómetros es el Professional High Temperature Infrared Thermometers, ver Anexo D

CAPITULO VI

6. PROPUESTA

“ELABORAR UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SMAW APLICANDO LA CORRECTA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO EN EL HIERRO FUNDIDO GRIS CLASE 30”

6.1 DATOS INFORMATIVOS

La determinación de la correcta temperatura de precalentamiento para la soldadura SMAW de hierro fundido gris, es una información que no es muy difundida en nuestro país, y por consiguiente un elaborar un procedimiento de soldadura es muy poco utilizado, el precalentamiento también es un factor que controla la microestructura de la zona afectada térmicamente (ZAT) y del metal de soldadura, influyendo así en la velocidad de enfriamiento; pero esta velocidad depende también: de los espesores del material base, la geometría de la unión, el calor aportado.

Una vez adquirido de la siderúrgica el material base (hierro fundido gris), se procedió a realizar la caracterización e identificar las propiedades del material, obteniendo como resultado una fundición de hierro gris grado 30, gracias a las propiedades que el material posee y tras realizar un análisis químico se determinó un rango de temperatura de precalentamiento basadas en el cálculo de carbono equivalente, previo a la soldadura SMAW se procedió a aplicar el ensayo de diferentes temperaturas de precalentamiento y la temperatura calculada, basados en los ensayos mecánicos realizados de determino que se obtiene las mejores propiedades mecánicas con una temperatura de precalentamiento de 370°C en una fundición de hierro gris Grado 30 en la junta soldada.

Por esta razón he centrado mi estudio en la correcta aplicación de precalentamiento previo a la aplicación en un procedimiento de soldadura SMAW, determinando en primer lugar el tipo de fundición a soldar, así como su composición química, su

microestructura, y propiedades mecánicas de tracción y dureza e impacto, el cálculo y la aplicación de la temperatura de precalentamiento, y posteriormente analizar las propiedades de la junta soldada. El estudio constituye un importante aporte a el área de materiales y soldadura debido a que se ha determinado la influencia que tiene el precalentamiento sobre las propiedades mecánicas de la junta soldada del hierro fundido gris, constituyendo además una base para realizar ensayos y estudios posteriores para evaluar otros parámetros de la soldadura del hierro fundido que permitan seguir mejorando las propiedades mecánicas de soldadura.

Los ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas se los realizaron en el Laboratorio de Materiales de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Existen varias investigaciones centradas en la soldadura de hierro fundido gris, soldaduras realizadas con materiales de aporte para un procedimiento oxiacetilénico (OFW), pero es muy complicado hallar un estudio que desarrolle un procedimiento para soldadura SMAW para el hierro fundido gris, y el mismo que se centre en el estudio de la temperatura de precalentamiento previo a la soldadura y todas las variantes que esta implica para mejorar propiedades mecánicas de la junta soldada frente a procesos de soldadura sin precalentamiento, esto relacionado con los costos económicos que son mucho menores que los demás procesos.

Muchos que se han encontrado con fallos repetitivos al momento de intentar soldar y reparar el hierro fundido gris, tras el desconocimiento de los beneficios que implica precalentar el material a una temperatura adecuada previo a la soldadura, no han conseguido obtener una buena soldadura que brinden propiedades mecánicas óptimas, de aquí nace la necesidad de proponer un procedimiento de soldadura SMAW aplicando la correcta temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris para contrarrestar los principales problemas al momento de realizar la soldadura que son: microestructuras no deseadas como la martensita o tamaños de grafito muy grandes y distribuidos de manera no uniforme, baja resistencia que opone al material a la tracción, baja resistencia al impacto, y durezas muy altas; por tanto fue necesario evaluar probetas aplicando diferentes temperaturas de precalentamiento

conjuntamente con la temperatura calculada en base a las propiedades del metal base, así poder evaluar concluir y elaborar procedimiento de soldadura SMAW basado en la temperatura de precalentamiento.

Una vez desarrollada la investigación, utilizando los parámetros adecuados y sometiendo a estudio las variables que pueden influir directamente en la investigación de la temperatura de precalentamiento se ha desarrollado un procedimiento de soldadura SMAW basados en la determinación de la temperatura de precalentamiento del hierro fundido gris que brinde mejores propiedades mecánicas.

6.3 JUSTIFICACIÓN

El hierro fundido es un metal común en la industria por su fabricación y su utilidad, a pesar de existir varias clases hierro fundido el más importante y utilizado es el hierro fundido gris llamado así porque cuando se fractura el propio hierro se ve oculto por el grafito. El hierro fundido puede mecanizar más fácil y rápidamente que el acero, así como tiene características buenas de resistencia a la compresión, muy buena resistencia al desgaste y una capacidad superior al acero, de absorber vibraciones, buenos conductores térmicos, algunas fundiciones tienen cualidades autolubricantes y tienen más resistencia a la oxidación que el acero al carbono.

Debido a que el hierro fundido gris tiene la estructura cristalina del grafito que hace que ni se doble ni se estire, este se rompe rápidamente. Este es un hecho muy habitual en la industria, que utiliza componentes de hierro fundido gris en su maquinaria como: carcasas de bombas, prensas, troqueladoras, carcasas de motores eléctricos, y tantos otros componentes de hierro fundido gris, he incluso en prácticas de enseñanza en laboratorios de soldadura, produciendo caros tiempos de improductivos o un incorrecto procedimiento de enseñanza, debido a la utilización de un procedimiento inadecuado y el desconocimiento de los beneficios de la utilización de temperatura de precalentamiento como resultado soldaduras que no poseen buenas propiedades mecánicas.

El precalentamiento es un medio efectivo para reducir el agrietamiento del cordón de la soldadura y del metal base, este minimiza o puede eliminar el riesgo de formación

de estructuras duras y frágiles, especialmente en la zona afectada térmicamente, además la soldadura solidifica con menos esfuerzos (Tensiones), debido a que la contracción ha sido más uniforme en la pieza soldada, otra de las fundiciones es mejorar la ductilidad (propiedad que tiene un material bajo la acción de una fuerza de deformarse sosteniblemente sin romperse), de disminuir su dureza, tener buena maquinabilidad, y disminuir la posibilidad de agrietamiento durante el enfriamiento.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 General

Elaborar un instrumento técnico de soldadura SMAW, determinando y aplicando la temperatura de precalentamiento basado en las propiedades del hierro fundido gris que nos brinden mejores propiedades mecánicas.

6.4.2 Especifico

Determinar y aplicar la temperatura de precalentamiento basado en el grado de función de hierro gris a ser soldado y sus propiedades.

- Evaluar las propiedades mecánicas, resistencia a la tracción, dureza, impacto, de juntas soldadas de la fundición de hierro gris aplicando precalentamiento previo a la soldadura.
- Determinar la microestructura de juntas soldadas del hierro fundido gris, con la influencia de la temperatura de precalentamiento.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El presente proyecto de investigación está basado en el área de soldadura e Materiales de Ingeniería Mecánica con este estudio se puede elaborar un procedimiento de soldadura alternativo para el Hierro fundido Gris.

De la Tabla 6.6, se determina que la elaboración de la propuesta es factible de realizarse, ya que se cuenta con información necesaria, normativa, además del recurso humano, materiales e instrumentos para la realización de la soldadura del hierro fundido gris con precalentamiento, para lo cual se utilizara un horno de mufla en donde se precalentarán las probetas a diferentes temperaturas, la soldadura fue realizada por un soldador no calificado que pertenece a la institución de SECAP, utilizando la infraestructura de los laboratorio de soldadura y tratamientos térmicos, el enfriamiento se lo realizo en arena fina, secada y precalentada previamente, mientras que los ensayos mecánicos se los realizo en el laboratorio de materiales la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato utilizando su infraestructura en excelentes condiciones de los cuales los más importantes son: la máquina universal, microscopio metalografico, pulidora de probetas metalográficas, durómetro, máquina de ensayo charpy, reactivos químicos para revelar la microestructura, e identificar así sus propiedades.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La presente propuesta se basa en la información recolectada en los capítulos II, IV, donde se relaciona el marco teórico y la interpretación de resultados, analizando los factores que intervienen en la soldadura del hierro fundido gris aplicando el precalentamiento fundamentados en la teórica necesaria para la obtención de los mejores resultados, obtenidos durante los ensayos realizados aplicando el precalentamiento de diferentes temperaturas.

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados previos determinación y aplicación de la temperatura de precalentamiento a 370 °C, así como las propiedades y características que presentaron luego de culminado el proceso de soldadura en el Hierro Fundido Gris, Clase 30 según la norma ASTM A 48.

6.6.1 Caracterización del material base

Ya que el material adquirido presentaba propiedades desconocidas se procedió a realizar la caracterización del material base y mediante ensayos proceder a conocer sus propiedades obteniendo como resultados las siguientes propiedades:

Tabla 6.1: Principales propiedades del material base

PRINCIPALES PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL METAL BASE	
Propiedad o Característica	Resultado
Carbono equivalente:	4.77 %
Carbono total:	3.80 %
Dureza Brinell:	142.93 HBS
Resistencia a la tracción promedio:	27.30 Kpsi
Tamaño de grafito libre:	4-3
Distribución de grafito:	Tipo A - B
Matriz predominante:	Ferrito - Perlítica

Elaborado por: Oscar Tene

6.6.2 Determinación de los componentes microestructurales en la junta soldada

En la determinación de los componentes microestructurales se utilizó un software especializado que mediante una imagen binarizada nos ayudó a determinar el porcentaje de los componentes que constituyen la microestructura de la junta soldada.

- **Material Base**

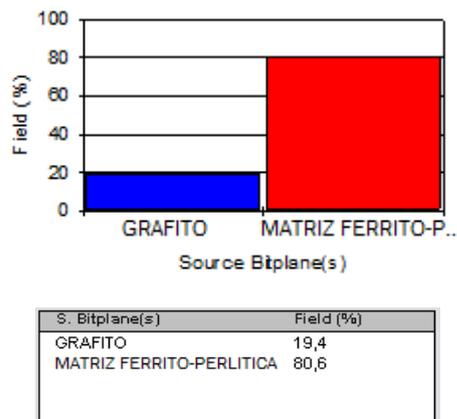


Figura 6.1 Componentes microestructurales en el metal base de la junta soldada con precalentamiento a 370 °C.

Fuente: Autor

Los componentes en la junta soldada con precalentamiento a 370°C que se muestra en la figura 6.1, indican que está compuesta por un 19% de grafito y 80.6 % de matriz Ferrito-perlítica.

▪ **Zona Térmicamente Afectada**

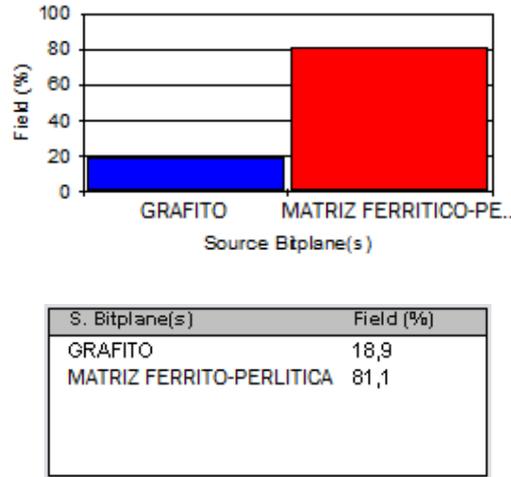


Figura 6.2 Componentes microestructurales en la ZAT de la junta soldada con precalentamiento a 370 °C.

Fuente: Autor

Los componentes en la zona térmicamente afectada de la junta soldada con precalentamiento a 370°C que se muestra en la figura 6.2, indican que está compuesta de un 18.9% de grafito y 81.1 % de matriz Ferrito-perlítica.

▪ **Metal Fundido**

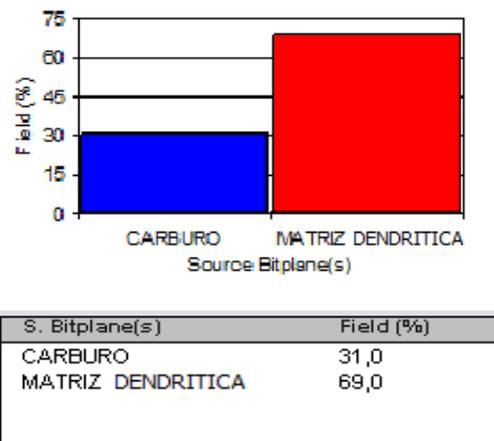


Figura 6.3 Componentes microestructurales en el metal fundido de la junta soldada con precalentamiento a 370 °C.

Fuente: Autor

Los componentes en la zona del metal fundido de la junta soldada con precalentamiento a 370 °C que se muestra en la figura 6.2, indican que está compuesta de un 31.0 % de Carburo en una matriz dendrítica rica en níquel del 69.0 %.

6.6.3 Cálculos del ensayo a tracción

Probeta: 2N
 Longitud de calibración: 50 ±0.1mm
 Área inicial 304 mm²

Tabla 6.2 Resultados registrados del Ensayo de Tracción.

RESULTADOS REGISTRADOS			
Longitud inicial:	50 mm	Longitud final:	52.5 mm
Carga Máxima:	6712.3 kg	Deformación Max:	13.5 mm

(Fuente: Autor)

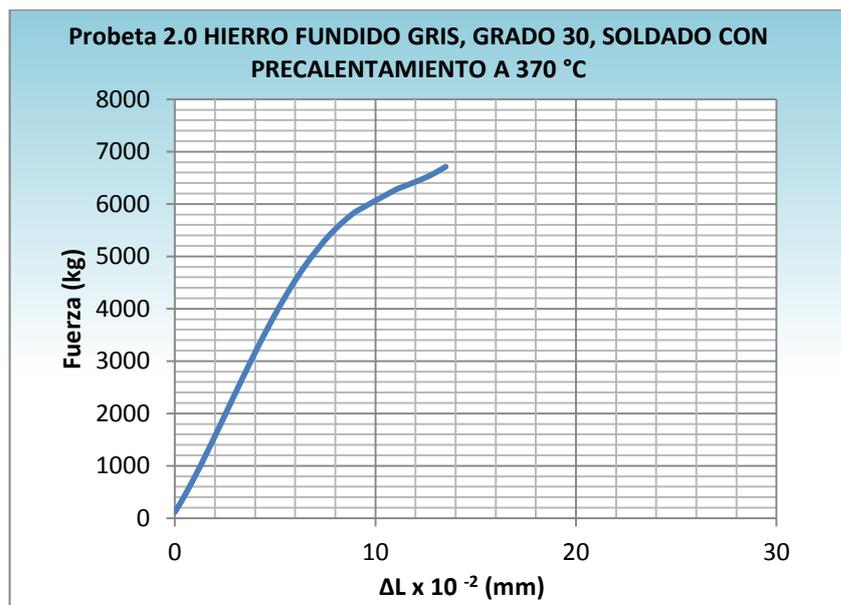


Figura 6.4 Curva fuerza vs deformación lineal de la probeta 2.0 soldada con precalentamiento a 370°

Fuente: Autor

En la figura 6.4 se observa que la carga máxima a obtuvo un valor de 6712.3 [kg] con una deformación del 13.5 [mm].

6.6.3.1 Cálculo del área inicial de la probeta

$$A_o = A \times B$$

$$A_o = 8 \times 38 \text{ [mm]}$$

$$A_o = 304 \text{ [mm}^2\text{]}$$

6.6.3.2 Cálculo del área final de la probeta

$$A_f = A \times B$$

$$A_f = 7.6 \times 37.3 \text{ [mm]}$$

$$A_f = 283.48 \text{ [mm}^2\text{]}$$

6.6.3.3 Cálculo de la resistencia última a la tracción

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o}$$

$$S_{ut} = \frac{6712.3}{304}$$

$$S_{ut} = 22.080 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$$

$$S_{ut} = 31.412 \text{ [ksi]}$$

6.6.3.4 Cálculo del porcentaje de alargamiento

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100$$

$$\varepsilon = \frac{52.5 - 50}{50} \times 100$$

$$\varepsilon = 5.0 \%$$

6.6.3.5 Cálculo de la reducción porcentual del área

$$\%Reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

$$\%Reducción = \frac{304 - 283.480}{304} \times 100$$

$$\%Reducción = 6.750\%$$

6.6.4 Resultados ensayos de dureza

Datos del ensayo

Método:	Rockwell B
Carga aplicada:	980 N
Penetrador:	Bola de acero 1/16 in

Método:	Rockwell C
Carga aplicada:	1471 N
Penetrador:	Cono de acero in

Tabla 6.3 Resultados de la dureza en la junta soldada con precalentamiento a 370°C a hora.

RESULTADOS				
Huella N°	Zona de barrido	Dureza		BARRIDO DE DUREZAS (mm)
		HRB HRC	Brinell HB	
1	MA	79.0 HRB	134.5	
2	MA	79.5 HRB	135.8	
3	Intercara	23.0 HRC	238.0	
4	ZAT	98.2 HRB	209.0	
5	MB	96.0 HRB	196.2	
6	MB	96.0 HRB	196.2	
7	MB	96.0 HRB	196.2	
8	MB	95.8 HRB	195.0	

Elaborado por: Oscar Tene

6.6.5 Resultado ensayo impacto

Tabla 6.4 Resultados del ensayo de impacto en la junta soldada con precalentamiento a 370°C.

RESULTADOS					
Probeta N°	Sección transversal de la probeta			Energía de Impacto	Resistencia al impacto
	Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	(Joule)	J/cm ²
1.0	0.755	0.960	0.725	2.5	3.125
2.0	0.790	0.980	0.774	0.5	0.625
3.0	0.770	0.980	0.755	1.4	1.75
4.0	0.730	0.960	0.701	2	2.5
5.0	0.770	0.950	0.732	2.5	3.125
Detalle de la probeta			Promedios:	1.780	2.225

Elaborado por: Oscar Tene

6.7 METODOLOGÍA

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.</p>		
<ol style="list-style-type: none"> 1. OBJETO: Establecer las distintas acciones a seguir para la aplicación de la soldadura SMAW aplicando la adecuada temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris. 2. ALCANCE: Este procedimiento está desarrollado para el cálculo y la aplicación de la temperatura de precalentamiento en proceso de soldadura SMAW. 3. DOCUMENTACIÓN Y REFERENCIA: El desarrollo del presente procedimiento se encuentra sustentado en la investigación realizada en el capítulo II y IV. 4. GENERALIZACIÓN: La mayor parte de la soldadura del hierro fundido gris es de reparación; la soldadura SMAW aplicando precalentamiento es uno de los procedimientos menos utilizados, el alto porcentaje de carbono que se encuentra en el hierro fundido gris lo hace diferente del acero por lo que su soldabilidad dependerá éste y debido a la estructura cristalina del grafito presente en la fundición hace que ésta no se doble ni se estire y termine por romperse; el factor de las formas en las que puede presentarse el carbono en el hierro fundido gris requiere de una atención especial a la hora de realizar la soldadura, las grietas resultantes o la introducción de estructuras no deseables son las principales preocupaciones cuando se suelda. 			
Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

La aplicación de la temperatura de no-agrietamiento correlaciona el carbono equivalente de la fundición a soldar, reduciendo así principalmente la velocidad de enfriamiento de las piezas dependiendo de su espesor, preparando así al metal para que sea más receptivo a la soldadura y brindando mejores condiciones en sus propiedades mecánicas.

5. REALIZACIÓN

El proceso para realizar la soldadura SMAW en el hierro fundido gris clase 30 comprende los siguientes pasos:

- 5.1 Caracterización del material.
- 5.2 Preparación de la junta a soldar.
- 5.3 Selección del electrodo.
- 5.4 Aplicación de la temperatura de precalentamiento.
- 5.5 Operación de la soldadura.

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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

Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.



5.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.

La determinación de la clase del hierro fundido gris que se va a soldar es muy importante, debido a las diferentes características y propiedades que puedan presentar las clases de hierros grises como especifica la Norma ASTM A-48 (Anexo C1). Cuando se posee hierro fundido gris y se desconoce su clase o grado y no se tiene una ficha técnica proporcionada por el fabricante, es posible determinar su grado mediante un análisis de sus propiedades mecánicas mediante ensayo; para el presente procedimiento se realizó los ensayos: metalográfico, químico (espectrometría), dureza, y tracción.

5.1.1 ANÁLISIS METALGRÁFICO.

La metalografía es esencialmente, el estudio de las características estructurales o de constitución de un metal o una aleación para relacionar ésta con las propiedades físicas y mecánicas.

El análisis metalográfico se lo realizó en el laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato mediante el siguiente procedimiento:

1. Obtención de la muestra.
2. Desbaste manual de probetas.
3. Pulido metalográfico.
4. Ataque químico.
5. Evaluación.

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

- 1. Obtención de la muestra.** Las probetas seleccionadas deben ser parte del metal estudiado que brinden la máxima información. La obtención de la muestra se la realiza cortando un pedazo que nos facilite su manipulación



Figura 6.5: Corte de probetas
Fuente: Autor

- 2. Desbaste manual de probetas.** Se procede a realizar el desbaste en un banco de probetas utilizando lijas de 240, 320, 400, 600 (gr/plug²), el proceso se lo realiza en dirección de un solo sentido, sin aplicar excesiva presión; el objetivo de desbaste es eliminar las asperezas y deformaciones provocadas en la obtención de las probetas.



Figura 6.6: Lijadora de desbaste
Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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

Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.



3. Pulido metalográfico. El objetivo es eliminar de la superficie las rayas finas producidas en el desbaste, se utiliza una pulidora con discos giratorios con paño aplicando medio abrasivo para el pulido metalográfico que es alúmina (óxido de aluminio) disuelto en agua, el pulido se lo hace en una sola dirección hasta obtener una superficie “espejo” libre de rayones.



Figura 6.7: Pulido metalográfico
Fuente: Autor

4. Ataque químico. La probeta debe ser lavada y secada antes de realizar el ataque químico para el cual se utiliza reactivo Nital 2 recomendado para fundiciones, que permiten observar las características microestructurales de la superficie atacada; el tiempo de ataque químico para la fundición de hierro será de 6 segundos. Se rocía con agua para detener el ataque y se seca con flujo de aire



Figura 6.8: Ataque Químico y secado de probetas
Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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

Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris,
Clase 30.



5. Evaluación. Con la ayuda del microscopio y el circuito cerrado evaluamos la estructura de hierro fundido gris, los resultados obtenidos nos permitirá realizar una comparación visual con las fotografías del libro Metal HandBook, Volumen 6 y la composición de la microestructura según la norma ASTM A 48 y la norma ASTM A247.



Figura 6.9: Evaluación de la microestructura
Fuente: Autor



Figura 6.10: Microestructura hierro fundido gris sin ataque
Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



5.1.2 ANÁLISIS QUÍMICO

El análisis químico del material tiene como objetivo, obtener los porcentajes de cada uno de los componentes que integran el material previo a su estudio. El análisis se lo realizó en la empresa Ferro Aleaciones S.A (FALESA).

El análisis consiste en una chispa que ataca la muestra y lee el espectro el cual en función de la longitud de onda de éste espectro determina los componentes. El chispeo se realiza en varios lugares de la muestra con una atmósfera de Argón para eliminar el oxígeno.



Figura6.11: Probeta sin análisis químico

Fuente: Autor

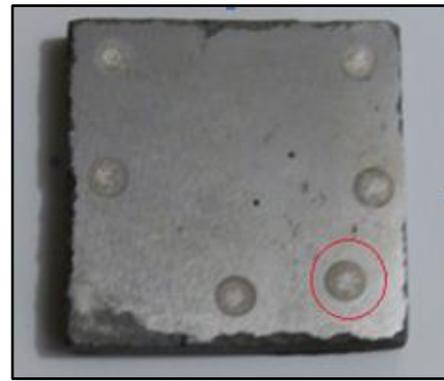


Figura6.12: Probeta analizada químicamente

Fuente: Autor

Los resultados son exactos y confiables los cuales se muestran en el Anexo A1

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

5.1.3 ENSAYO DE DUREZA

Medir la resistencia del material a la penetración del indentador sobre la superficie del material es el objetivo de este ensayo. Para medir la dureza se lo realizará mediante el método de Dureza Rockwell B siguiendo el siguiente proceso.

1. Preparación de la probeta.
2. Calibración de la máquina (Durómetro).
3. Ejecución del ensayo de dureza.
4. Evaluación de resultados.

- 1. Preparación de la probeta.** Se corta y se obtiene un pedazo a analizar, posteriormente la superficie a ser analizada es pulida, eliminando así defectos de la superficie



Figura 6.13: Banco de lijas
Fuente: Autor

- 2. Calibración de la máquina (Durómetro).** La calibración del durómetro se la realiza en función al material que se va analizar, identificando así la carga, el indentador, y la escala asignada. La carga asignada para y hierro fundido es 980 N y utilizaremos el penetrador de 1/16" (in)

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

3. Ejecución del ensayo de dureza. Colocamos la probeta sobre la superficie de ensayo del durómetro, ajustamos la máquina hasta que haga contacto, seguido aplicamos la precarga, una vez estabilizada aplicamos la carga de 980 N y observamos la medición que indica el durómetro.



Figura6.14: Durómetro

Fuente: Autor

4. Evaluación de resultados. Los resultados obtenidos de las durezas en diferentes puntos de la probeta se los registra para obtener una dureza promedio y evaluar la probeta.

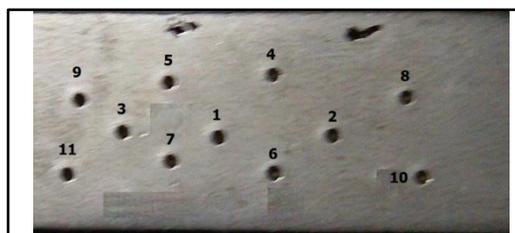


Figura6.15: Probeta ensaya en el durómetro

Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

5.1.4 ENSAYO A TRACCIÓN. Este ensayo se lo realiza para poder obtener información sobre el comportamiento mecánico del material bajo esfuerzos de tracción el cual nos permitirá conocer la resistencia última a la tracción conociendo así sus propiedades y compararlas con la norma ASTM A48 (anexo C1). El procedimiento para realizar el ensayo a tracción en la presente investigación será el siguiente:

1. Preparación de probetas:
2. Ensayo a tracción
3. Evaluación de resultados

1. Preparación de probetas: las probetas deberán ser maquinadas mediante fresado, sus dimensiones estarán bajo la norma ASTM E8 (ver anexo C2). Es muy importante señalar la longitud de calibración, ya que después de someter las probetas a tracción, se compararan las medidas finales para obtener los resultados que nos permitan evaluarlo.

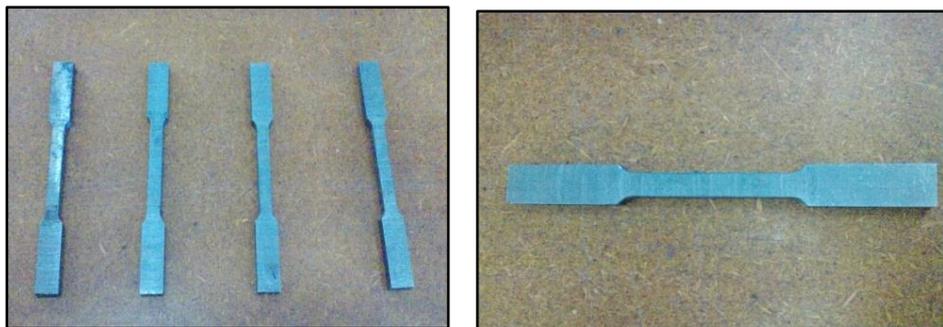


Figura 6.16: Probetas de ensayo a tracción

Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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

Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris,
Clase 30.



2. Ensayo a tracción: El ensayo a tracción se lo realiza mediante la máquina universal donde se deforma la probeta a tracción, aplicando la fuerza uniaxialmente, a medida que se va deformando la muestra, se va registrando la fuerza (carga). Llegando generalmente hasta la fractura de la pieza. El procedimiento es el siguiente;

- Se marcan las señales en donde se va a colocar el deformimetro
- Colocar las probetas en los acoples de la máquina universal
- Aplicamos la precarga
- Aplicamos la carga y recopilamos los datos que nos genera el deformimetro para la posterior tabulación de datos.



Figura 6.17: Máquina Universal para ensayos a tracción
Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

3. Evaluación del ensayo a tracción; El resultado será graficado en una curva de esfuerzo vs deformación, brindando así la información necesaria para identificar a qué clase de fundición gris pertenece el material según la norma ASTM A48.

Tabla 6.5 Resultados del ensayo a tracción, probeta N° 3

PROPIEDADES DEL MATERIAL	UNIDADES
Longitud calibración: (mm)	50 ± 0,1 mm
Longitud de calibración final:(mm)	52.81
Carga Máxima (Kg)	3352.0
Sut (ksi)	30.529
Deformación ingenieril (%)	3.956
Reducción de Área (%)	5.655
Tipo de falla	Frágil

Elaborado por: Oscar Tene

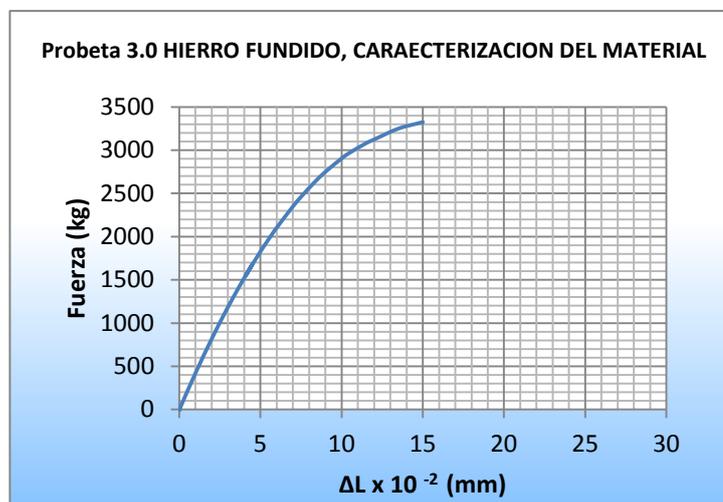


Figura 6.18: Grafico Fuerza – deformación lineal

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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

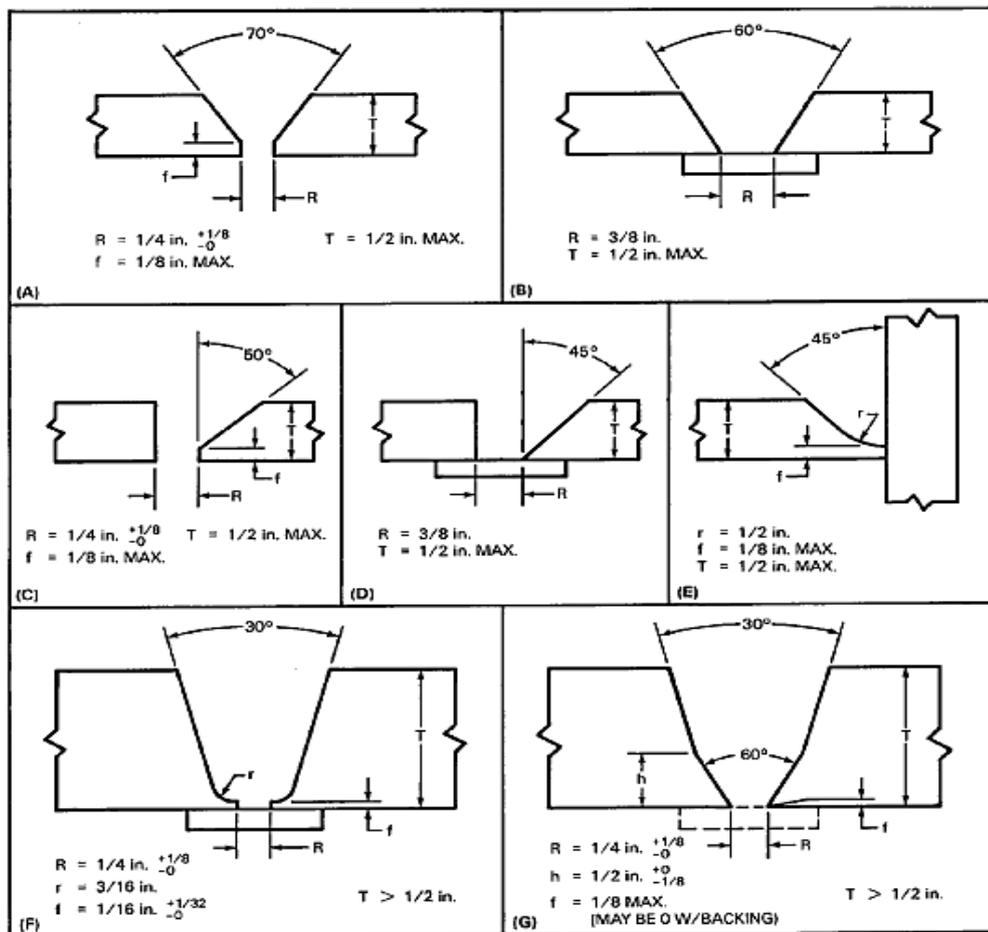


Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

5.2 PREPARACIÓN DE LA JUNTA A SOLDAR:

La preparación de la junta influye directamente en las propiedades mecánicas de la pieza a soldar; por lo tanto para la elaboración de la junta soldada se debe seguir minuciosamente los siguientes pasos:

1. Diseñar la junta en base a su espesor, basándose en las dimensiones establecidas por la norma AWS D11.2-89 para hierros fundidos



Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris,
 Clase 30.

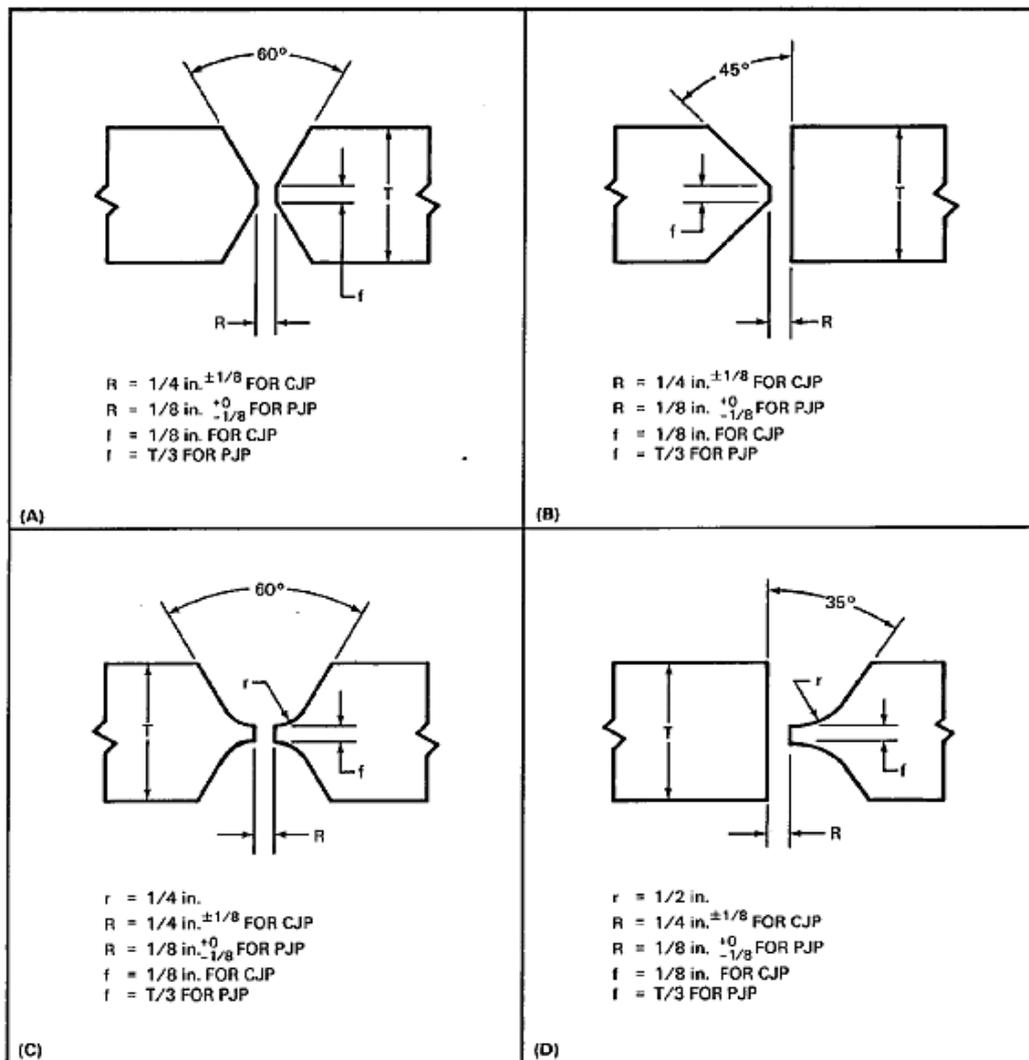


Figura 6.19: Juntas sugeridas con penetración completa y parcial para Hierros fundidos por AWS
Fuente: ANSI/AWS D11.2. 1989. "Guide for Welding Iron Casting". Miami. Florida.

La junta deberá ser basada según su espesor en los diseños homologados por la norma AWS D11.2 – 89.

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

2. Maquinar las probetas, es importante tener cuidado de no calentar la superficie del material para no alterar sus propiedades microestructurales.
3. Inspeccionar que no existan grietas ni porosidades en la junta a soldar.
4. Eliminar las aristas vivas (bordes afilados) o superficies irregulares que puedan derretirse y provocar puntos duros durante la soldadura.
5. Limpiar de grasas, aceites, agua, humedad, oxido, corrosión, arena, pintura u otros materiales extraños que interfieran en el proceso de soldadura u originen combustión inflamable.
6. Verificar los puntos mencionados previo a la soldadura



Figura 6.20: Hierro fundido gris clase 30, Junta Fresada con un espesor de 8 [mm]

Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

5.3 SELECCIÓN DEL ELECTRODO: El electrodo recomendado y utilizado en este estudio para soldar el hierro fundido gris clase 30 es un AWS ENi-CI



Figura 6.21: Electrodo de soldadura AWS A5.15 ENi-CI

Fuente: Autor

El proceso de selección del electrodo estará fundamentado bajo los siguientes parámetros:

1. Los electrodos de hierro fundido gris deben cumplir con los requerimientos de la norma AWS A5.15
2. Las propiedades mecánicas del electrodo.
 - La resistencia a la tracción del electrodo deberá que ser mayor a la resistencia que tiene el material base.
 - El porcentaje de elongación que estará directamente relacionado con la resistencia a la tracción.
 - La dureza del electrodo que se obtendrá en el depósito cuidando de que no se pueda obtener zonas duras en la soldadura.

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

- La composición química del electrodo que influirá en las zonas aledañas al cordón de soldadura.
- Dimensiones del electrodo (\varnothing diámetro)
- 3. Costo económico (que sea de menor costo y ofrezca buenas propiedades mecánicas)
- 4. Disponibilidad de existencia en el mercado Ecuatoriano.

5.4 APLICACIÓN Y CONTROL DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO

La temperatura de precalentamiento deberá ser de 370°C y se lo realizara mediante un horno de mufla y su control se lo realiza mediante el display digital incorporado en el horno en la siguiente secuencia:

1. Preparamos el horno y sus instalaciones eléctricas.



Figura 6.22: Horno de resistencias eléctricas
Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

2. Colocamos las probetas dentro del horno de manera ordenada.



Figura 6.23: Introducción de probetas al horno

Fuente: Autor

3. Precalentamos hasta una temperatura de precalentamiento de 370°C



Figura 6.24: Precalentamiento de probetas en horno

Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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

Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.



5.5 OPERACIÓN DE SOLDADURA

El procedimiento de soldadura será realizado correlacionando los parámetros anteriores y tomando en cuenta las siguientes observaciones:

1. **Calibración de la máquina**, procedemos a ubicar los parámetros en la máquina de soldar:



Figura 6.25: Calibración de la máquina de soldar
Fuente: Autor

- Utilizamos una máquina de soldar con corriente continua; la máquina que se utilizó es marca Cebora MMA 2335/T
- Utilizamos una polaridad invertida o indirecta (Cable del porta electrodo conectado al polo (+) y el cable de tierra al polo (-))
- La selección de amperaje estará relacionado con el espesor, la geometría del material a soldar, el diámetros del electrodo, y el número de pasadas en la junta; según la práctica en la investigación es recomendable soldar en un amperaje:
 - 55 – 90 Amperios en electrodos de 1/8" in
 - 70 – 110 Amperios en electrodos de 5/32" in

Para la presente investigación se utilizaron electrodos de marca West Arco

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

2. Cumplir con los parámetros de seguridad en proceso.

Tomar las precauciones necesarias para resguardar la integridad del soldador y personal involucrado:

1. Retirar todo material que tenga peligro de combustión a una distancia prudente.
2. Utilizar los elementos de seguridad: guantes, mandil, casco, mangas, zapatos de seguridad
3. Revisar las instalaciones eléctricas
4. Aislar la humedad o agua del lugar donde se va soldar
5. Aislar el lugar donde se va soldar con elementos protectores que impidan la salida de chispas o rayos del arco que puedan afectar al personal que se encuentre cerca de la soldadura.
6. Utilizar pinzas para manipular las piezas precalentadas
7. Siempre procure tener equipo extinguidor de fuego al fácil alcance en todo momento.

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

3. Proceso de la soldadura:

Al momento de realizar la soldadura del hierro fundido gris se debe tener en cuenta los siguientes observaciones:

- Controlar la temperatura de precalentamiento; puede utilizarse un pirómetro.



Figura 6.26: Control de temperatura mediante el pirómetro
Fuente: Autor

- Los cordones longitudinales sin oscilación transversal son preferidos; depositar cordones angostos en vez de anchos.
- Realizar cordones cortos de 5 a 8 cm, intermitentes para evitar excesivo calor localizado, se puede partir del centro hacia los extremos.



Figura 6.27: Soldadura de probetas
Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	



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



Procedimiento para soldadura SMAW aplicado la temperatura de precalentamiento en el hierro fundido gris, Clase 30.

- Realizar la limpieza entre pasadas.
- Martillar el cordón después de apagarse el arco, esto ayudar a eliminar los esfuerzos de contracción de la soldadura y las zonas afectadas por el calor.
- Aislar la soldadura de corrientes de aire frío para evitar cambios bruscos de temperaturas.
- Terminado el proceso de soldadura introducir la pieza en arena seca para inducir a un enfriamiento lento y homogéneo.



Figura 6.28: Introducción en arena de probetas soldadas

Fuente: Autor

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	05/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espin	Observaciones:	

6.8 ADMINISTRACIÓN

6.8.1 Costos de Investigación

El análisis económico de la investigación y propuesta se presenta en la tabla 6.6 en donde se desglosan detalladamente los materiales y recursos utilizados:

Tabla 6.6 Desglose del costo de la investigación.

ÍTEM	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN (PROCESO)	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
COSTOS DE RECURSOS MATERIALES					
1	43.55	kg	Fundición de hierro gris (planchas).	\$ 4,4	\$ 215,04
2	1	--	Análisis químico (espectrometría)	\$ 72,24	\$ 72.24
3	8	u	Sierra SANDFLEX	\$ 1,50	\$ 12
4	1	u	Arco de sierra	\$ 12	\$ 12
5	1	u	Maquinado de probetas	\$ 320	\$ 320
6	1	u	Equipo de protección personal	\$ 20	\$ 20
7	2	kg	Electrodos AWS A5.15 ENiCI	\$ 96	\$ 192
8	1	u	Soldadura de probetas	\$ 200	\$ 200
9	1	u	Mecanizado de probetas soldadas	\$ 150	\$ 150
11	4	u	Pliego de lijas # 240	\$ 0,20	\$ 0,80
12	4	u	Pliego de lijas # 320	\$ 0,20	\$ 0,80
13	4	u	Pliego de lijas # 400	\$ 0,20	\$ 0,80
14	4	u	Pliego de lijas # 600	\$ 0,20	\$ 0,80
15	1	Frasco	Reactivo Nital 2	\$ 12	\$ 12
16	1/2	lb	Alúmina	\$ 160	\$ 80
COSTO TOTAL DE RECURSOS MATERIALES					\$ 1288,48
COSTOS DE RECURSOS HUMANOS					
17	1	u	Recolector de información	\$ 50	\$ 50
18	1	U	Fresador	\$ 50	\$ 50
19	1	U	Soldador	\$ 50	\$ 50
20	1	u	Ayudante de preparación de probetas	\$ 20	\$ 20
COSTO TOTAL DE RECURSOS HUMANOS					\$ 170
COSTOS DE RECURSOS VARIOS					
21	3	U	Resma de hojas	\$ 5	\$ 15
22	100	Horas	Internet	\$ 0,85	\$ 85
23	1	U	Impresiones	\$ 150	\$ 150
24	3	U	Anillados	\$ 0,75	\$ 2,25
25	3	U	Empastados	\$ 10	\$ 30
26	1	U	Transporte	\$ 70	\$ 70
COSTO TOTAL VARIOS					\$ 352.25
Subtotal:					\$ 1810.73
10 % Imprevistos					\$ 181.07
Costo total:					\$ 1991.80

Elaborado por: Oscar Tene

6.8.2 Costos de soldadura

El costo del material de soldadura se basa en la cantidad de material de soldadura depositado, para el cálculo del material depositado se utiliza el diseño de la junta.

Área del metal de aporte [cm²]

La figura 6.29 representa la geometría de la junta que se eligió en la propuesta para realizar las soldaduras a tope en Y, de las probetas soldadas.

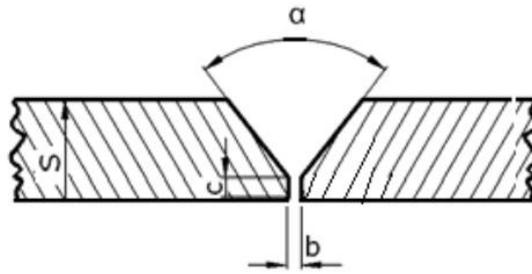


Fig 6.29 Geometría de la junta

Fuente: El Autor

α	Angulo ataque [°]	70°
b	Separación de raíz [mm]	5 [mm]
c	Talón de raíz [mm]	3 [mm]
s	Espesor [mm]	8 [mm]

$$ATS = (s * b) + (s - c)^2 * tg \frac{\alpha}{2} \quad Ec. 5.1$$

$$ATS = (8 * 5) + (8 - 3)^2 * tg 35^\circ$$

$$ATS = 0.57 \text{ cm}^2$$

Peso del material depositado [kg/cm]

$$Peso \text{ del material depositado} = AST * \rho_{hierro} * 100 \quad Ec. 5.2$$

AST	Área de la sección transversal [cm ²]	0.57 [cm ²]
ρ_{hierro}	Densidad del hierro fundido [kg/cm ³]	0.007874 [kg/cm ³]

$$Peso \text{ del material depositado} = 0.57 * 0.007874 * 100$$

$$Peso \text{ del material depositado} = 0.45 \text{ [kg/m]}$$

El peso del depósito será 0.45 kg por metro lineal.

La distancia soldada sumando todas las probetas es de 4.4 m siendo así:

$$El \text{ material a ser depositado sera} = 0.45 \text{ [kg/m]} * 4.4 \text{ [m]}$$

$$Material \text{ depositado} = 1.98 \text{ [kg]}$$

El tiempo de soldadura por probeta fue de 5.3 minutos.

$$\text{Tiempo total} = 5.3 \text{ min} * 40 \text{ probetas}$$

$$\text{Tiempo total} = 2.12 \text{ horas}$$

Tasa de deposición será:

$$\text{Tasa de deposición: } \frac{\text{Material depositado}}{\text{Tiempo total}} \quad \text{Ec. 5.3}$$

$$\text{Tasa de deposición: } \frac{1.98 \text{ kg}}{2.12 \text{ h}}$$

$$\text{Tasa de deposición: } 0.93 \text{ [kg/h]}$$

A = Costo de la energía [\$/kg metal depositado]

$$CE = \frac{\text{Precio de energía} * \text{kWatt consumidos/hr}}{\text{Tasa de deposición}} \quad \text{Ec. 5.4}$$

Los kWatt consumidos a tomar en cuenta serán:

kW consumidos soldadora [kW/hr]	50.6 [kW/hr]
kW consumidos horno [kW/hr]	260 [kW/hr]
Total:	310.6 [kW/hr]

Precio de la energía [\$/kW-hr]	0.25 [\$/kW-hr]
kW consumidos [kW/hr]	310.6 [kW/hr]
Tasa de deposición [kg/hr]	0.93 [kg/hr]

$$CE = \frac{0.25 * 310.6}{0.93}$$

$$CE = 83.49 \text{ [$/kg metal depositado]}$$

B = Costo de la mano de obra [\$/kg metal depositado]

$$CMO = \frac{\text{Valor de la mano de obra}}{\text{Tasa de deposición} * \text{Factor de operación}} \quad \text{Ec. 5.5}$$

Valor de la mano de obra [\$/hr]	50 [\$/hr]
Tasa de deposición [kg/hr]	0.93 [kg/hr]
Factor de operación (relación)	65 %

$$CMO = \frac{50}{0.93 * 0.65}$$

$$CMO = 82.71 \text{ [$/kg]}$$

C = Costo del consumible [\$/kg metal depositado]

$$CC = \frac{\text{Precio del consumible por kilo}}{\text{Eficiencia de deposición}} \quad \text{Ec. 5.6}$$

Precio del consumible/kilo [\$/kg]	160.31 [\$/kg]
Eficiencia de deposición [%]	65 [%]

$$CC = \frac{106.31}{0.65}$$
$$CC = 163.55 \quad [$/kg]$$

CT = Costo total

Costo total = Costo de la energía + Costo MO + Costo del consumible

Costo total = 83.49 + 82.71 + 163.55

Costo total = 329.75 \$

En el presente proyecto para realizar la soldadura se tomo en cuenta un 10% de imprevistos del costo total de soldadura:

Costo total: 329.75 * 10% = 32.975 \$

Costo Total de la soldadura fue de 362.72 USD.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez concluido el presente trabajo de investigación donde se pudo determinar que la aplicación de la temperatura de precalentamiento previo a la soldadura del hierro fundido gris clase 30 que presento la mejor combinación propiedades es de 370°C aplicando un electrodo AWS ENi-CI, se siguiere tomar en cuenta todas las aplicaciones y recomendaciones que se presentan en este estudio.

La investigación fue realizada en los laboratorios de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi; la investigación constituye un aporte importante al Área de Materiales y Soldadura ya que mediante este se ha logrado determinar un procedimiento se soldadura SMAW en el hierro fundid gris clase 30 aplicando la temperatura de precalentamiento adecuada, el mismo que puede ser utilizado en recuperación de piezas de hierro fundido gris utilizadas en el campo industrial.

La presente investigación puede servir como referencia para realizar otros estudios basados en la realización de tratamientos térmicos al material después de realizar la soldadura.

1. BIBLIOGRAFÍA

1.1 Fuentes Bibliográficas

1. PASTOR M. 1998. *“Introducción a la metalurgia de la soldadura”*. S.F Editorial. Pag.1. Biblioteca FICM.
2. ING. LAUFGANG. Sergio. 21/04/2004. *“Tratamiento térmico de soldadura”*. Curso de inspectores de soldadura IAS. Pág: 41.
3. MALISHEV. SHUVALOV. G. NIKOLAIEV. Yu SHUVALOV. 1975. *“Tecnología de los Materiales”*.Edición 4. Mir.
4. ASKELAND. Donald R. 1998. *“Ciencia e Ingeniería de los Materiales”*. Thompson. México. Pág. 130.
5. ASKELAND. Donald R. 2009. *“Ciencia e Ingeniería de los Materiales”*. Edamsa. México. Pág. 241.
6. APRIZ BARREIRO, J. 1963, *“Fundiciones”*, Madrid, Editorial Dossat, 2 Edición.
7. LINCOLN ELECTRIC, 2010, *“Smaw-Soldeo Manual Con Electrodo Revestidos (Smaw)”*. Departamento de Formación Lincoln-KD S.A.
8. ING. ALEJANDRO CHELEN. Ing. Victor GALLEGUILLOS, Enero-Marzo 2001. *“Optimización de los parámetros de soldadura para las realizaciones de uniones soldadas del acero A514 grado B”*. ULS. Pag: 43.
9. ROGER A. BUSHEY. THE ESAB GROUP. 1993. Metal Handbook. *“Welding Brazing and Soldering”*. AWS.
10. JOSÉ APRAIZ BARREIRO. 1998. *“Fundiciones”*. 6ta Edición. Pag 72.
11. ASM HANDBOOK. 1987. *“Casting, Gray Iron”*. 9na.Edición. USA. pag: 639.

12. RETO Fabián. 1998. *“Tratamientos térmicos para la optimización microestructural en una fundición férrea de baja aleación”*. Piura. Pág: 24.
13. MANGONON. 2001. *“Ciencia de materiales selección y diseño”*. primera edición, pearson México. Pág: 142.
14. AWS B4.0. 2007. *“Standard Methods for Mechanical Testing of Welds”*. Miami.
15. ANSI/AWS D11.2. 1989. *“Guide for Welding Iron Casting”*. Miami. Florida.
16. ASTM A 48/A 48M. 2003. *“Standard Specification for Gray Iron Castings”*. United States.
17. ASTM E8/E8M. 2009. *“Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”*, United States.

1.2 Biblioteca Virtual de la UTA:

1. Estudio, Ing. Asta Eduardo. Ing. Salazar Mónica, Ing. Quesada Héctor. 2003. *“Efecto de la temperatura de precalentamiento en la soldabilidad de un acero ASTM A 514 GR B”*. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires - Argentina, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires - Argentina, Biblioteca_virtual_UTA Web site:
<http://www.materialessam.org.ar/sitio/biblioteca/bariloche/Trabajos/A02/0219.pdf>
2. Estudio, Ing. Mecánico. Jimy Unfried Silgado / Ing. de Soldadura de ESSA (Paris) Efraín Tabares Acevedo. 2004. *“Soldabilidad de fundiciones grises con materiales de aporte tipo RBCUZN-A, ERCUAL-A2 Y ERNIFE-CI-A.”*, Universidad Nacional de Colombia, Medellín – Colombia, Biblioteca_virtual_UTA Web site:
<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/496/49614109.pdf>

3. MOLERA Sola, PERE. 12/2009. “*Soldadura industrial: clase y aplicaciones*”, Marcombo Editorial, Pág. 9, Biblioteca_virtual_UTA, Website: <http://site.ebrary.com/lib/utasp/search.action?p00=temperatura+de+precalentamiento+en+soldadura&search=Buscar+en+ebrary>

4. RAMIREZ Maury, ENRIQUE Heriberto, 2009 “*Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados*”, Universidad del Norte Editorial, Pág: 641, Biblioteca virtual UTA Web site: <http://site.books.google.com.ec/books?ld=rHynAxzH0EO&lpg=PA641&dq=PRECALENTAMIENTO+DE+HIERRO+GRIS+EN+LA+SOLDADURA&source>

5. SÁNCHEZ Fabiola, HINOJOSA Moisés, GONZÁLEZ Virgilio, Enero-Marzo 2001, “ *Hojuelas de grafito en un hierro fundido gris: Análisis fractal y estadístico*”, Ingenierías, Pág: 641, Biblioteca virtual UTA Web site: <http://site.books.google.com.ec/books?ld=rHynAxzH0EO&lpg=PA641&dq=PRECALENTAMIENTO+DE+HIERRO+GRIS+EN+LA+SOLDADURA&source>

1.3 Sitios Web:

1. CURSO INTERNO DE LA EMPRESA ANCAP, 25 de Noviembre de 2004. “*Discontinuidades, defectos, aplicación de normas*”. Uruguay. Pag.19. Paysandú, Website: <http://www.google.com.ec/>

2. Estudiantes de metalografía, 18 de mayo del 2011, “*Diagrama hierro carbono*”, Metalografía, Web site: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2011/05/30/1-generalidades-de-los-materiales/>

3. OBSERVATORIO TECNOLÓGICO DE LA SOLDADURA, “*Fundición gris*”, Web site: http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=172&Itemid=30

4. <http://tq.educ.ar/grp0128/Ensayos/Metalog.htm>

ANEXOS

ANEXOS A

Anexo A1: Ensayo químico



Matriz: Km. 7,8 Vía a Daule (lado izquierdo) Av. 12da. y Calle 3ra.
 Tel: (04) 2252829 – 2251764 – 2250605 – 2250376 Fax: Ext. 116
 Sucursal: Km. 1,5 Vía Durán-Tambo (lado derecho)
 Tel: (04) 2801070 Telefax: 2801080
 falesa@falesa.com • www.falesa.com
 Casilla 2057 Guayaquil - Ecuador

Fecha de impresion: 10/10/2012

Hora de impresion: 9:59:38 AM

DEPARTAMENTO DE FUNDICION

Ensayo de Analisis Quimico

FECHA : 10/2/2012
 HORA : 3:17:15 PM
 EMPRESA :
 ATENCION : OSCAR TENE
 MUESTRA :
 PEDIDO :
 PROGRAMA: Fe-20-F

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Co
Value	3.80	2.13	0.468	0.224	0.0780	0.204	0.123	0.0250	0.00430	0.427	0.0130
	Ti	Nb	V	W	Pb	Mg	B	Sn	Zn	As	Bi
Value	0.0210	<0.0025	0.0140	<0.0100	<0.0030	<0.0010	<0.0005	0.0190	0.0130	0.0150	<0.0015
	Ce	Zr	La	Fe							
Value	<0.0030	<0.0015	0.00150	92.4							


 Responsable del Analisis
 Carlos Montiel C.

Nota: Este análisis no podrá ser usado contra terceros

NOS ESPECIALIZAMOS EN ACCESORIOS PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA

Garruchas Agrícolas • Vinchas, Ganchos y Platinas para funiculares • Separadores • Rodillos Transportadores • Calibradores Fijo y de Reloj • Comprobadores • Telecalibradores • Escaleras de Cosecha y Enfunde • Cunas • Curvos, Machetes y Podones • Peso Patrón • Aspersores SAEL y Acoples Rápidos de ½ y ¾ • Cañones • Torres para Riego • Válvulas: de Aire, de Bronce, de Mariposa, Hidrantes • Adaptadores • Reductores • Codos • Tees • Uniones • Cruces • Accesorios Flex • Guantes Industriales y Mandiles • Tubería de PVC, Aluminio y Manguera Flex • Empaques • **Otras Líneas:** Accesorios para Aluminio y Vidrio, Muebles de Oficina, Electrodomésticos, Avícolas • Fundimos bronce, aluminio, cobre, zinc, ánodos, bocines marinos • Sinterizamos bronce grafitado autolubricado • **Servicios:** Análisis de Espectrometría • Recuperación de Metales (lingoteado) • Electroerosión por Hilo y Penetración • Rectificación de Superficies Planas • Tornos Automáticos • Inyección de piezas en plástico, aluminio y caucho • Reparación de Garruchas, Aspersores

Anexo A2: Especificaciones del electrodo

NIQUEL 100



ELECTRODOS PARA SOLDAR HIERRO FUNDIDO

IDENTIFICACIÓN : WEST ARCO NIQUEL 100
CLASIFICACIÓN : AWS ENiCl
ESPECIFICACIÓN : AWS A5.15, ASME SFA5.15

CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES

Núcleo de níquel puro. Depósitos de buena ductilidad y alta maquinabilidad. Minimiza los esfuerzos residuales producidos durante la soldadura.

APLICACIONES TÍPICAS

Para soldaduras en hierro gris donde se requiere una muy buena maquinabilidad. Para culatas y bloques de motores y compresores. Relleno de piezas y en general para todo trabajo en hierro fundido gris. Uniones de fundición gris con aceros al carbono.

RECOMENDACIONES PARA SU APLICACIÓN

Puede utilizarse con corriente directa en cualquier polaridad y con corriente alterna. Hacer soldaduras cortas de no más de 5 a 8 cm, de longitud y alternar los cordones. Es aconsejable depositar cordones angostos en vez de anchos. Martillar el cordón inmediatamente después de apagar el arco, ayuda a eliminar los esfuerzos de contracción de la soldadura y la zona afectada por el calor. En piezas difíciles de soldar se debe siempre precalentar. Cuando se sueldan piezas de fundición, debe evitarse los cambios bruscos de temperatura, aislando la pieza de corriente de aire. Al terminar o interrumpir las aplicaciones de soldadura, introducir la pieza en cal o arena seca para producir un enfriamiento lento y homogéneo.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia a la tracción:	24 - 32 Kg/mm ² (35 - 45 Ksi)
Límite de Fluencia:	22 - 30 Kg/mm ² (32 - 42 Ksi)
Elongación:	3 - 6%
Dureza: Primera capa	190 - 230 Brinell
Segunda capa	155 - 195 Brinell

COMPOSICIÓN QUÍMICA TÍPICA DEL METAL DEPOSITADO

Carbono	2.00% máx.	Manganeso	1.00% máx.
Azufre	0.03% máx.	Silicio	4.00% máx.
Cobre	2.50% máx.	Níquel	85.00% min.
Hierro	8.00% máx.	Aluminio	1.00% máx.

DIMENSIÓN	AMPERAJES RECOMENDADOS
2.4 X 300 mm (3/32")	40 - 80 A
3.2 X 350 mm (1/8")	55 - 100 A
4.0 X 350 mm (5/32")	90 - 150 A

EMPAQUE: Caja de 5 Kg peso neto.
Ver recomendaciones de almacenamiento al final del catálogo.

Anexo A3: (MSDS) Hojas de seguridad del electrodo



HOJA DE SEGURIDAD (MSDS – MATERIAL SAFETY DATA SHEET)

Código: HDS-017

Revisado: 2011-05-12

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Soldaduras	Producto:	Níquel 60, Níquel 100
West Arco S.A.S.	Tipo:	Electrodo revestido para soldadura manual por arco eléctrico
Av. (Cra.) 68 # 5-93.	Grupo:	Aleaciones de Níquel
Bogotá - Colombia	Teléfonos de emergencia:	4176288 – 4175999 (lunes a viernes de 7:45 a.m. a 5:30 p.m.)

2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Varillas recubiertas sobre su superficie. El material en condiciones normales y empaçado de fábrica no es considerado peligroso (No es reactivo, no es inflamable, no es explosivo y no es venenoso)

Evite el contacto con los ojos o la inhalación de polvo de los electrodos de soldadura. El contacto con la piel normalmente no genera riesgo, pero deben evitarse para prevenir posibles reacciones alérgicas.

Las personas con marcapasos no deben operar o estar cerca de procesos de soldadura por arco eléctrico hasta que haya consultado a su médico y obtenido la información al respecto del fabricante del dispositivo.

Cuando se utilizan alambres en procesos de soldadura, los riesgos más importantes son el calor, la radiación, choque eléctrico y humos de soldadura:

Calor: Las salpicaduras y la fusión del metal pueden causar lesiones por quemaduras y puede ser desencadenantes de incendios.

Radiación: Los rayos del arco pueden generar daños en los ojos o la piel.

Electricidad: El choque eléctrico puede ser mortal.

Humos de Soldadura: La sobre exposición a los humos de soldadura puede resultar en síntomas como la fiebre, mareos, náuseas, sequedad o irritación de la nariz, la garganta o los ojos. Exposición crónica a los humos de soldadura puede afectar la función pulmonar.

La exposición excesiva al manganeso y compuestos de manganeso por encima de los límites seguros de exposición puede causar daños al sistema nervioso central.

Los compuestos de cromo VI son considerados cancerígenos. Larga exposición al cromo y óxidos de cromo III pueden causar descamación, enrojecimiento, irritación y sensación de quemadura sobre la piel. La sobreexposición por largos periodos a los compuestos de níquel puede causar fibrosis pulmonar. También se puede presentar dolor e irritación en la nariz y cambio en el color o apariencia de la piel. Los compuestos de níquel son considerados cancerígenos.

El ruido puede dañar la audición.

3. COMPOSICIÓN. INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

COMPONENTE	% en Peso	CAS No	OSHA PEL, mg/m3	ACGIH TLV, mg/m3
Carbonato de Calcio	4 – 7	1317-65-3	5 (respirable)	10 (polvo)
Fluorita	2 – 5	7789-75-5	2.5	2.5
Grafito	0.5 – 2	7782-42-5	5 (respirable)	2 (respirable)
Silicio	0.2 – 0.5	7440-21-3	5 (respirable)	10 (respirable)
Manganeso	0.2 – 0.8	7439-96-5	5 (humo)	0.2
Hierro	1 - 30	7439-89-6	5 (respirable)	10
Níquel	Balance	7440-02-0	0.1 (soluble) 1 (insoluble)	0.1 (soluble) 1 (insoluble)

Nota: Varillas de Acero recubiertas.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Este producto no está considerado peligroso, sin embargo puede formar humos peligrosos cuando se utiliza.

Inhalación: Asegúrese de que respira aire puro.

Contacto con los ojos: Reduzca al mínimo la exposición a la luz. Para quemaduras por radiación de arco eléctrico, Visite a su médico. Para quitar el polvo o humos enjuague con abundante agua durante por lo menos quince minutos Si la irritación persiste, obtenga ayuda médica.

Contacto con la piel: Para quemaduras en la piel por radiación del arco eléctrico, inmediatamente enjuague con agua fría. Obtener atención médica para las quemaduras o irritaciones que persisten. Para eliminar el polvo o partículas, realice un lavado con agua y un jabón suave.

Una descarga eléctrica: Desconecte y apague el equipo. Use un material no conductor para retirar todo contacto con partes bajo tensión o alambres de las víctimas. Si no respira, administre respiración artificial, preferiblemente boca a boca. Si no se puede detectar pulso, comience Resucitación Cardio-Pulmonar (RCP). Llame inmediatamente a un médico.

General: Salga a respirar aire fresco y siempre busque ayuda médica. Si es posible, muestre esta ficha.

5. MEDIDAS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS

No hay recomendaciones específicas para electrodos de soldadura. Al soldar, el arco, las chispas producidas, la escoria, el metal fundido o superficies calientes pueden incendiar materiales combustibles o inflamables. Como referencia, ver la norma Técnica Colombiana NTC 4066 Seguridad en Corte y Soldadura, o ANSI/AWS Z 49.1.

6. MEDIDAS POR FUGAS ACCIDENTALES

El Material puede ser recogido con una pala y ubicado en un recipiente.

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Manejo: El medio de transporte debe garantizar que los empaques no se degraden. Como referencia se debe consultar el Catálogo Técnico de los Productos. Para evitar degradación del material, se debe mantener protegido de la humedad. Lávese las manos y otras áreas expuestas con agua y un jabón suave antes de comer, beber, fumar y al abandonar el trabajo.

Almacenamiento: Almacénese en un lugar seco protegido para evitar el contacto con la humedad. Mantenga el envase cerrado cuando no lo esté usando.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Protección Respiratoria: Utilice un respirador recomendado para humos y una fuente externa de suministro de aire cuando se realicen trabajos en un sitio confinado, o cuando la ventilación local no alcance a mantener por debajo los límites de exposición establecidos. **Es recomendable usar extractores móviles o portátiles con brazo de extracción.**

Protección de los Ojos: Utilice careta o un protector facial con el respectivo lente filtro. Como regla general, empiece utilizando el filtro lente más oscuro con el cual observe la zona de soldadura. Luego escoja el siguiente más claro para obtener una suficiente visión de la zona de soldadura. Suministre pantallas protectoras o gafas para proteger a otras personas si es necesario. Es recomendado que durante el proceso de soldadura no se usen lentes de contacto.

Vestuario de Protección: Proteja la cabeza, manos y cuerpo para prevenir daños por radiación, chispas o choques eléctricos (ver NTC 4066 Seguridad en Soldadura y Corte, o ANSI/AWS Z49.1). Como mínimo se debe suministrar guantes para soldadura y un protector facial; también se puede incluir protector de brazos, peto, capuchón para proteger cabeza y hombros. Utilice ropa oscura en general. Entrene al soldador para no tocar partes con corriente y aislarse así mismo de la pieza de trabajo y de la conexión a tierra.

Higiene Industrial: Utilice suficiente ventilación, extracción local en el arco, o ambas, para mantener los gases y humos debajo de los niveles de TLV en la zona de respiración del trabajador y en la zona de trabajo en general. Entrene al soldador para mantener la cabeza fuera del alcance de los humos.

Como recomendación para determinar la composición y cantidad de gases y humos a los cuales está expuesto el trabajador, se debe tomar una muestra de aire en la parte interna de la careta del soldador, o en la zona de respiración del trabajador. (Ver ANSI/AWS F1.1 Method for Sampling Airborne Particles Generated by Welding and Allied processes.)

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto: sólido, no volátil
Punto de fusión: >1300 ° C

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estos productos son estables bajo condiciones normales.

Reactividad:

Evítese el contacto con ácidos o agentes oxidantes.

Estos productos han sido diseñados exclusivamente para procesos de soldadura en condiciones normales.

En un proceso de soldadura, en los productos de descomposición peligrosos se incluyen los de la volatilización, reacción u oxidación de los materiales enumerados en la sección 3, de los metales base y de su recubrimiento (pinturas, galvanizados, depósitos electrolíticos) o presencia de contaminantes en la atmósfera tales como vapores procedentes de operaciones de limpieza y desengrase.

La cantidad de gases generados por la soldadura manual por arco varía en función de los parámetros de soldadura y las dimensiones de los electrodos. Es razonable esperar que los productos de la descomposición, cuando el electrodo se utiliza de manera normal, incluyan óxidos complejos de los componentes citados en la sección 3, como también CO₂, CO, ozono y óxidos de nitrógeno. Consulte los límites aplicables de exposición nacionales para los compuestos del humo. El límite de manganeso en los humos puede ser alcanzado antes que el límite general para humos de soldadura, en algunos países, que pueden ser fácilmente superados, pero por lo general no más de 5 g/kg de consumo.

Otra Información: Remítase al documento "Health and Safety in Welding" del Instituto Internacional de Soldadura (IIS/IIW).

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

La inhalación de humos y gases de soldadura pueden ser peligrosos para la salud. La clasificación de los humos de soldadura es difícil debido a las variaciones materiales base, revestimientos, la contaminación del aire y los procesos. La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer ha clasificado a los humos de soldadura como posible carcinógeno para los seres humanos (Grupo 2B).

Toxicidad aguda: La sobreexposición a los humos de soldadura puede resultar en síntomas como la fiebre, mareos, náuseas, sequedad o irritación de la nariz, la garganta y/o los ojos.

Toxicidad crónica: La sobreexposición a los humos de soldadura puede afectar la función pulmonar. La sobreexposición al manganeso y compuestos de manganeso por encima de los límites de exposición segura puede causar daños al sistema nervioso central, incluida la cerebral, cuyos síntomas pueden incluir dificultad para hablar, letargo, temblores, debilidad muscular, disturbios psicológicos y marcha espástica.

Ciertos compuestos de cromo hexavalente, el metal níquel y sus compuestos y la sílice cristalina respirable están listados en el "Annual Report on Carcinogens" (Informe Anual de Carcinógenos) del Programa Nacional de Toxicología (NTP, por sus siglas en inglés), han sido determinados como carcinógenos potenciales en las monografías editadas por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) o listados como posibles carcinógenos por la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional y la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (OSHA/ACGIH, por sus siglas en inglés).

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Este producto no contiene componentes peligrosos para al medio ambiente. Evítese su liberación al medio ambiente.

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN

Deseche cualquier producto, residuo, contenedor desechable o de línea en una forma ambientalmente aceptable, en plena conformidad con las leyes del país y reglamentos locales. Use procedimientos de reciclaje.

Se recomienda que los residuos del producto se manejen en recipientes metálicos o plásticos adecuados para soportar el peso. Preferiblemente separarlos por tipo de material (por ejemplo, recipientes para recubrimientos duros e inoxidables y otros para aceros al carbono). Los alambres son reciclables como chatarra para hornos de fundición.



HOJA DE SEGURIDAD
(MSDS – MATERIAL SAFETY DATA SHEET)

Código: **HDS-017**

Revisado: 2011-05-12

14. INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE

No existen regulaciones o restricciones internacionales para el producto. No es un material peligroso.

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Lea y entienda las instrucciones del fabricante, las instrucciones de prácticas seguras de su empleador, las indicaciones de seguridad y de salud en la etiqueta en el empaque. Observe todos los reglamentos nacionales y locales. **Tome precauciones al soldar, protéjase a sí mismo y a los demás.**

16. INFORMACIÓN ADICIONAL

Consejos relativos a la formación: Asegúrese de que el usuario está informado de los riesgos asociados al proceso de soldadura y que sabe que hacer en caso de accidente o emergencia.

Para más información sobre seguridad en procesos de soldadura se debería consultar la norma NTC 4066 "Seguridad en Soldadura y Corte", ANSI/AWS Z49.1 "Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes" o "Health and Safety in Welding" del Instituto Internacional de Soldadura (IIS/IIW).

Esta hoja de seguridad ha sido actualizada con base en la norma NTC 4435 "TRANSPORTE DE MERCANCÍAS. HOJAS DE SEGURIDAD PARA MATERIALES. PREPARACIÓN."

FIN DEL DOCUMENTO

ANEXOS B

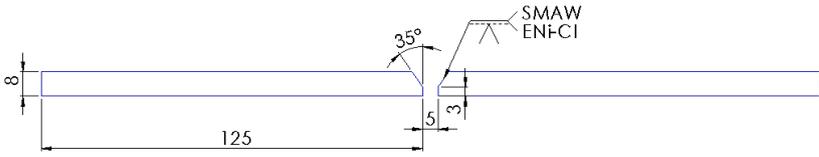
ANEXO B.1

WPS ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA AWS DII.2

WSP		ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA AWS DII.2					
Institución:		Universidad Técnica de Ambato		Identificación N°:		WPS N° 01	
Proceso(s) de soldadura:		SMAW		Soporte de PQR N°:		PQR N° 01	
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:	Maquina:		
Revisión:	1	Fecha:	02/03/2013	Revisado por:	Oscar Tene		
DISEÑO DE UNIÓN				POSICIÓN			
Tipo de Unión:		A tope		Ranura:	IG	Filete:	N/A
Tipo de Soldadura:		Ranura en V		Plancha:	N/A	Tubería:	N/A
Abertura de Raíz:		5 mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
Longitud de Cara de Raíz:		N/A		Modo de transferencia GMAW:		N/A	
Angulo de ranura	70°	Radio J/U	--	Corto Circuito:	Globular:	Spray:	
Soporte:	Si	No	X	Corriente: Proceso SMAW			
Material de aporte:		ENi-CI		AC:	--	DCEP	X
Limpieza de Raíz:	Si	Método:	Fresa	Pulso:	--	DECEN	--
METAL BASE				TÉCNICA			
DATOS		M.B. 1	M.B. 2	Aportación:	Oscilante:	X	Recta:
Grupo:	1	1	1	Pase:	Múltiple:	Simple:	
Especificación:	ASTM A48	ASTM A48	ASTM A48	Limpieza en pases:	Si	Método	Cepillo
Grado:	30	30	30	PRECALENTAMIENTO			
Esesor	8 mm	8 mm	8 mm	Precalentamiento:	Si	X	No
Diámetro (Tubería)	N/A	N/A	N/A	Temperatura de precalentamiento:		370°	
Superficie	Fresada	Fresada	Fresada	POSTCALENTAMIENTO			
Otros	--	--	--	Temperatura:	N/A	Tiempo:	N/A
METAL DE APORTE				PROTECCIÓN			
Especificación AWS:		A5.15		Fundente:	--	Gas:	--
Clasificación AWS:		ENiCI		Composición:	--	Composición:	--
Marca:		West Arco		Fundente:	--	V. de flujo:	--
Tamaño del electrodo:		1/8" , 5/32"		Otros:	Otros:		
DETALLES DE LA JUNTA							
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
Pase N°	Proceso	Aplicación	Metal de aporte		Corriente		Velocidad de avance (m/min)
			Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad (AC/DC)	Amperaje (A)	
1	SMAW	Derecha	ENiCI	3.2	DCEP	65	0.0648
2	SMAW	Izquierda	ENiCI	4.0	DCEP	82	0.0621
3	SMAW	Derecha	ENiCI	4.0	DCEP	107	0.0863
Elaborado por:		Oscar Tene		Fecha:		02/03/2013	
Aprobado por:		Ing. Mg. Segundo Espín		Institución:		U.T.A.	

ANEXO B.2

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO AWS DII.2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
PQR REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO AWS DII.2								
Istitución:		Universidad Técnica de Ambato		Identificación N°:		WPS N° 01		
Proceso(s) de soldadura:		SMAW		Soporte de PQR N°:		PQR N° 01		
Tipo:	Manual:	X	Automático:	--	Semiautomático:	--	Maquina:	--
Revisión:	1	Fecha:	02/03/2013	Revisado por:	Oscar Tene			
DISEÑO DE UNIÓN				POSICIÓN				
Tipo de Unión:		A Tope		Ranura:	1G	Filete:	N/A	
Tipo de Soldadura:		Ranura en V		Plancha:	N/A	Tubería:	N/A	
Abertura de Raíz:		5 mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Longitud de Cara de Raíz:		--		Modo de transferencia GMAW:				
Angulo de ranura	70 °	Radio J/U		Corto Circuito:		Globular:	Spray:	
Soporte:	Si	No	X	Corriente:				
Material de aporte:		ENi-CI		AC:	--	DCEP	X	
Limpieza de Raíz:		Método:		Pulso:	--	DECEN	--	
METAL BASE				TÉCNICA				
DATOS		M.B. 1	M.B. 2	Aportación:	Oscilante:	X	Recta:	
Grupo:	1	1		Pase:	Múltiple:	X	Simple:	
Especificación:	ASTM A48	ASTM A48		Limpieza en pases: Método				
Grado:	30	30		PRECALENTAMIENTO				
Espesor	8 mm	8 mm		Precalentamiento:				
Diámetro (Tubería)	N/A	N/A		Temperatura de precalentamiento:				
Superficie	Fresada	Fresada		POSTCALENTAMIENTO				
Otros				Temperatura:		Tiempo:		
METAL DE APORTE				PROTECCIÓN				
Especificación AWS:		A5.15		Fundente:	--	Gas:	--	
Clasificación AWS:		ENiCI		Composición:	--	Composición:	--	
Marca:		West Arco		Fundente:	--	V. de flujo:	--	
Tamaño del electrodo:		1/8" , 5/32"		Otros:		Otros:		
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Pase N°	Proceso	Aplicación	Metal de aporte		Corriente		Velocidad de avance (m/min)	
			Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad (AC/DC)	Amperaje (A)		
1	SMAW	Derecha	ENiCI	3.2	DCEP	65	0.0648	
2	SMAW	Izquierda	ENiCI	4.0	DCEP	82	0.0621	
3	SMAW	Derecha	ENiCI	4.0	DCEP	107	0.0863	
DETALLE DE LA JUNTA								
								
Elaborado por:		Oscar Tene		Fecha:		Oscar Tene		
Aprobado por:		Ing. Mg. Segundo Espín		Compañía:		Ing. Mg. Segundo Espín		



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



PQR

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

AWS D11.2

ENSAYO DE TENSION

Probeta Nº	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área Sección (mm ²)	Carga de fluencia (kg)	Resistencia última a la tracción espécimen (ksi)	Localización de la rotura
1.0	120	8	304	6500.8	30.423	Material Base
2.0	120	8	304	6712.3	31.412	Material Base
3.0	120	8	304	6775.4	31.708	Material Base
4.0	120	8	304	6737.4	31.530	Material Base
5.0	120	8	304	6763.1	31.650	Material Base

ENSAYO DE TENACIDAD O IMPACTO

Tipo de ensayo:		Charpy		Temperatura del ensayo:		21 ° C
Probeta Nº	Posición de la soldadura-entalla	Tipo de entalla	Localización de impacto	Energía de impacto (Joule)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Área de la fractura dúctil
1.0	IG	V	Cordón de Soldadura	28	35	0.778
2.0	IG	V	Cordón de Soldadura	26	32.5	0.722
3.0	IG	V	Cordón de Soldadura	28	35	0.726
4.0	IG	V	Cordón de Soldadura	27	33.75	0.757
5.0	IG	V	Cordón de Soldadura	30	37.5	0.715

INSPECCION VISUAL

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Apariencia:	Buena	Ensayo de radiografía:	--	Fecha	--
Socavamiento	No	Resultado		Fecha	--
Porosidad de Grande	No	Ensayo de ultrasonido:	--	Fecha	--
Convexidad	No	Resultado		Fecha	--
Fecha de ensayo	No	Ensayo Penetrantes	Tintas	--	Fecha
Inspeccionado por:	Oscar Tene	Resultado		Fecha	--

APLICA :

ENSAYO	SI -NO	CARACTERÍSTICA	RESULTADO	OBSERVACIONES
Ensayo de dureza	SI	Buena	135.8 HB – 209 HB	Pre calentadas a 370 °C
Ensayo Visual	SI	Buena	Buena	Pre calentadas a 370 °C
Ensayo de Impacto	SI	Buena	34.75 [J/cm ²]	Pre calentadas a 370 °C
Ensayo de tensión	SI	Buena	30.922 [ksi]	Pre calentadas a 370 °C
Otros				

Certifico que el contenido de este informe es correcto y que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del código AWS D11.2 para hierro fundido gris

Elaborado por:	Oscar Tene	Fecha:	08/02/2013 – 08/05/2013
Aprobado por:	Ing. Mg. Segundo Espín	Institución:	U.T.A.
Ensayos realizados por:	Oscar Tene	Laboratorio:	Materiales FICM

ANEXOS C

Anexo C1: ASTM A48/A 48M -03, Standard Specification for Gray Iron Casting



TABLE 1 Requirements for Tensile Strength of Gray Cast Irons in Separately Cast Test Bars (Inch-Pound)

Class	Tensile Strength, min, ksi	Nominal Test Bar Diameter, in.
No. 20 A	20	0.8
No. 20 B		1.2
No. 20 C		2.0
No. 20 S		Bars S ^A
No. 25 A	25	0.88
No. 25 B		1.2
No. 25 C		2.0
No. 25 S		Bars S ^A
No. 30 A	30	0.88
No. 30 B		1.2
No. 30 C		2.0
No. 30 S		Bars S ^A
No. 35 A	35	0.88
No. 35 B		1.2
No. 35 C		2.0
No. 35 S		Bars S ^A
No. 40 A	40	0.88
No. 40 B		1.2
No. 40 C		2.0
No. 40 S		Bars S ^A
No. 45 A	45	0.88
No. 45 B		1.2
No. 45 C		2.0
No. 45 S		Bars S ^A
No. 50 A	50	0.88
No. 50 B		1.2
No. 50 C		2.0
No. 50 S		Bars S ^A
No. 55 A	55	0.88
No. 55 B		1.2
No. 55 C		2.0
No. 55 S		Bars S ^A
No. 60 A	60	0.88
No. 60 B		1.2
No. 60 C		2.0
No. 60 S		Bars S ^A

^AAll dimensions of test bar S shall be as agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

7. Tensile Requirements

7.1 Test bars representing castings conforming to this specification shall meet the requirements for tensile strength as described in Table 1 and Table 2.

8. Dimensional Requirements

8.1 The castings shall conform to the dimensions or drawings furnished by the purchaser, or, if there are no drawings, to the dimensions predicted by the pattern equipment supplied by the purchaser.

9. Workmanship and Finish

9.1 The surface of the casting shall be free of adhering sand, scale, cracks, and hot tears, as determined by visual examination.

9.2 No repairing by plugging or welding of any kind shall be permitted unless written permission is granted by the purchaser.

Qingdao Casting Quality Industrial Co., Limited

TABLE 2 Requirements for Tensile Strength of Gray Cast Irons in Separately Cast Test Bars (Metric)

Class	Tensile Strength, min, ksi [MPa]	Nominal Test Bar Diameter, in. [mm]
No. 150A	150	20 to 22
No. 150B		30
No. 150C		50
No. 150S		Bars S ^A
No. 175A	175	20 to 22
No. 175B		30
No. 175C		50
No. 175S		Bars S ^A
No. 200A	200	20 to 22
No. 200B		30
No. 200C		50
No. 200S		Bars S ^A
No. 225A	225	20 to 22
No. 225B		30
No. 225C		50
No. 225S		Bars S ^A
No. 250A	250	20 to 22
No. 250B		30
No. 250C		50
No. 250S		Bars S ^A
No. 275A	275	20 to 22
No. 275B		30
No. 275C		50
No. 275S		Bars S ^A
No. 300A	300	20 to 22
No. 300B		30
No. 300C		50
No. 300S		Bars S ^A
No. 325A	325	20 to 22
No. 325B		30
No. 325C		50
No. 325S		Bars S ^A
No. 350A	350	20 to 22
No. 350B		30
No. 350C		50
No. 350S		Bars S ^A
No. 375A	375	20 to 22
No. 375B		30
No. 375C		50
No. 375S		Bars S ^A
No. 400A	400	20 to 22
No. 400B		30
No. 400C		50
No. 400S		Bars S ^A

^AAll dimensions of test bar S shall be as agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

10. Sampling

10.1 A lot shall consist of one of the following:

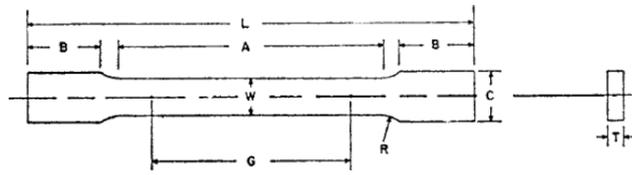
10.1.1 All the metal poured from a single heating in a batch type melting furnace.

10.1.2 All the metal from two or more batch type melting furnaces poured into a single ladle or a single casting.

10.1.3 All the metal poured from a continuous melting furnace for a given period of time between changes in charge, processing conditions, or aim-for chemistry or 4 h, whichever is the shorter period.

[Http://www.castingquality.com](http://www.castingquality.com)

Anexo C2: ASTM E8/E8M -09, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

NOTE 1—For the 40 mm [1.500 in.] wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 25 mm [1 in.] apart, or one or more pairs of punch marks 200 mm [8 in.] apart may be used.

NOTE 2—When elongation measurements of 40 mm [1.500 in.] wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 75 mm [2.25 in.] may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.10, 0.05 or 0.02 mm [0.004, 0.002 or 0.001 in.], respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 1 % larger than the width at the center.

NOTE 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used.

NOTE 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 40 mm [1.500 in.] wide specimens shall be 5 mm [0.188 in.]. Maximum thickness of 12.5 and 6 mm [0.500 and 0.250 in.] wide specimens shall be 19 and 6 mm [0.750 and 0.250 in.], respectively.

NOTE 6—For the 40 mm [1.500 in.] wide specimen, a 13 mm [0.500 in.] minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 690 MPa [100 000 psi] in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

NOTE 7—The dimension shown is suggested as a minimum. In determining the minimum length, the grips must not extend in to the transition section between Dimensions A and B, see Note 9.

NOTE 8—To aid in obtaining axial force application during testing of 6-mm [0.250-in.] wide specimens, the overall length should be as large as the material will permit, up to 200 mm [8.00 in.].

NOTE 9—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of 12.5 mm [0.500-in.] wide specimens is over 10 mm [0.375 in.], longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10—For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 2.5, 0.25 and 0.13 mm [0.10, 0.01 and 0.005 in.], respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the 12.5 mm [0.500 in.] wide specimen shall be symmetrical within 0.2 mm [0.01 in.].

NOTE 11—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 1.25 mm [0.05 in.], and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.2 mm [0.01 in.].

NOTE 12—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2 W from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. In acceptance testing, if the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 1 Rectangular Tension Test Specimens

Anexo C3: ANSI/AWS D11.2-89, Guide for Welding Iron Casting

AWS D11.2 89 ■ 0784265 0003814 3 ■

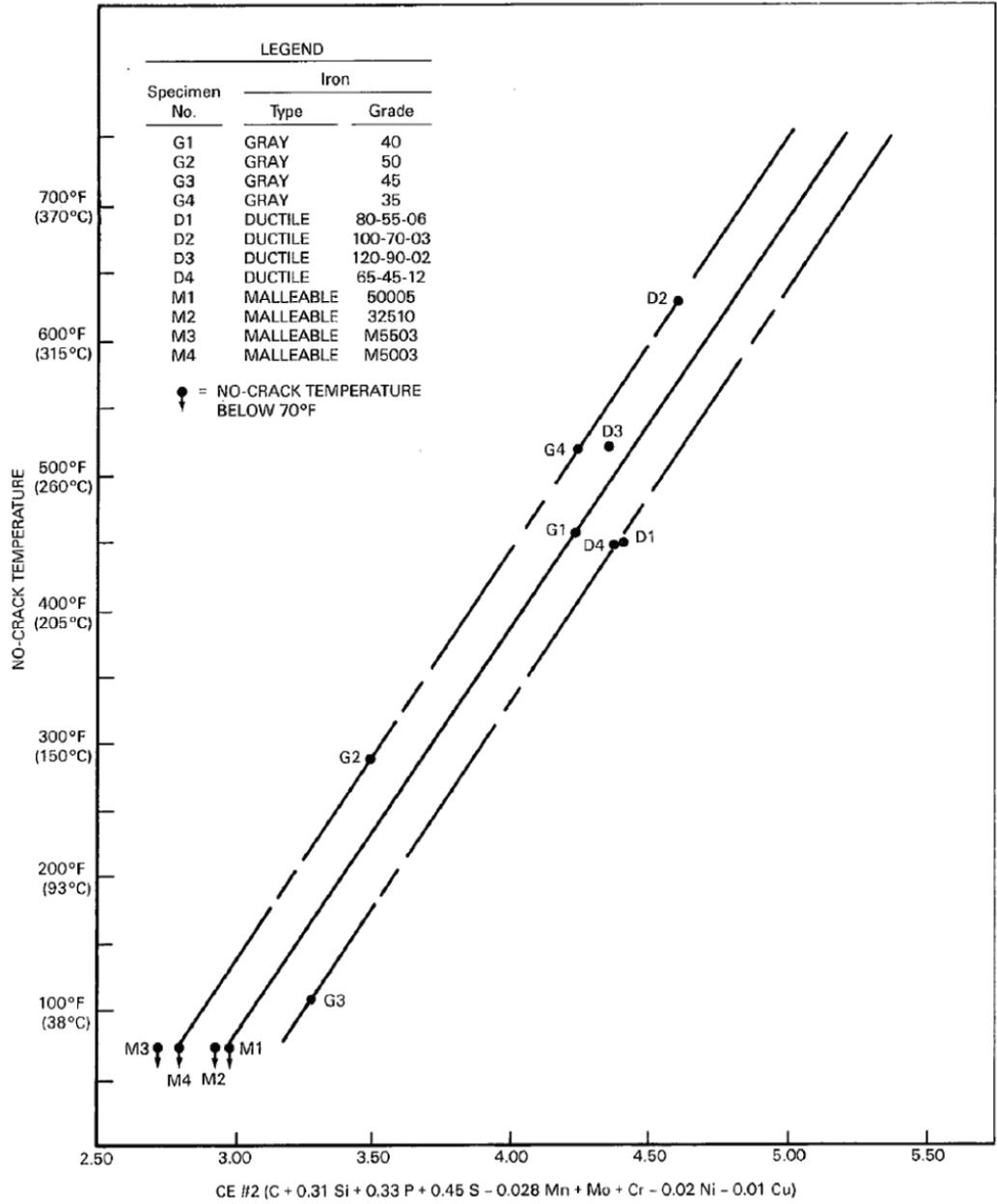


Figure 8 — Relation of No-Crack Temperature to C.E. #2 for Several Grades of Iron Castings

Many excavation methods may lead to defect propagation unless precautions are taken. Often it is wise to "pin" the defect before beginning excavation. This is accomplished by first locating the ends of the defect by visual, magnetic particle, or liquid penetrant inspection. Holes are then drilled through the ends of the defect. The crack then terminates in a hole and cannot propagate. An alternate method to drilling is to weld a ductile bead across the end of the crack transverse to its direction, using a nickel or nickel-iron electrode. The excavation can then be completed and welded as required.

3.1.1 Thermal Cutting and Gouging

3.1.1.1 Air-Carbon Arc Process (AAC). The air carbon arc process may be used for cutting and gouging to prepare gray, ductile, or malleable irons for joining and repairs. It requires a power source, a source of compressed air, a torch, and an electrode. The power source should have 60 volts minimum open circuit voltage. Air carbon arc electrodes require higher voltages and currents than equivalent size shielded metal arc electrodes. The compressor should be capable of delivering air at 80 to 100 psi (560 to 700 kPa) at the torch to provide adequate pressure to remove the molten metal.

Either direct or alternating current may be used with cast irons. If the current is DCEP, it should be set near the maximum that the electrode is designed for. The arc length (distance between electrode and workpiece) should be minimal. However, the electrode should not be allowed to touch the workpiece. These steps are necessary to prevent formation of a refractory slag on the surface of the cast iron which interferes with the cutting action. Copper coated electrodes that are specifically designed for alternating current may also be used on DCEN. Recommended current ranges follow.

Electrode Size		DCEP	DCEN	AC
in.	mm	A	A	A
3/16	4.8	150-200	150-180	150-200
1/4	6.4	200-400	200-250	200-300
3/8	9.5	350-600	300-400	300-500
1/2	12.7	600-1000	400-500	400-600
5/8	15.9	800-1200	—	—
3/4	19.1	1200-1600	—	—

The push angle and travel speed control the depth of the cut. A steep push angle (approaching perpendicular to the workpiece) and a slow travel speed will produce a deeper groove than a flat push angle (approaching parallel to the workpiece) and a fast travel speed. Weaving will increase the width of the groove. As is the case with any process which results in temperature high enough to cause transformation in adjacent areas of the base metal, the AAC process will create a heat affected zone (HAZ)

with undesirable properties. To prevent wide heat affected zones, procedures should be chosen which minimize heat input. The HAZ may be removed by grinding or other mechanical methods before welding.

3.1.1.2 Shielded Metal Arc Cutting (SMAC). SMAC electrodes that do not require supplemental compressed air or a special torch can also be used to prepare gray, ductile or malleable irons for joining and repairs, and provide a clean, efficient method for the removal of unwanted or defective metal. Special exothermic flux coverings develop an instantaneous concentration of heat into a very small crater at the tip of the electrode. When placed in contact with the base metal, the high concentration of heat in the arc causes the base metal to melt very rapidly in an area the width of the electrode diameter. The combination of elements in the flux covering dissolve with the molten metal core, resulting in a tremendous forward thrust, forcing the melted base metal from the crater formed.

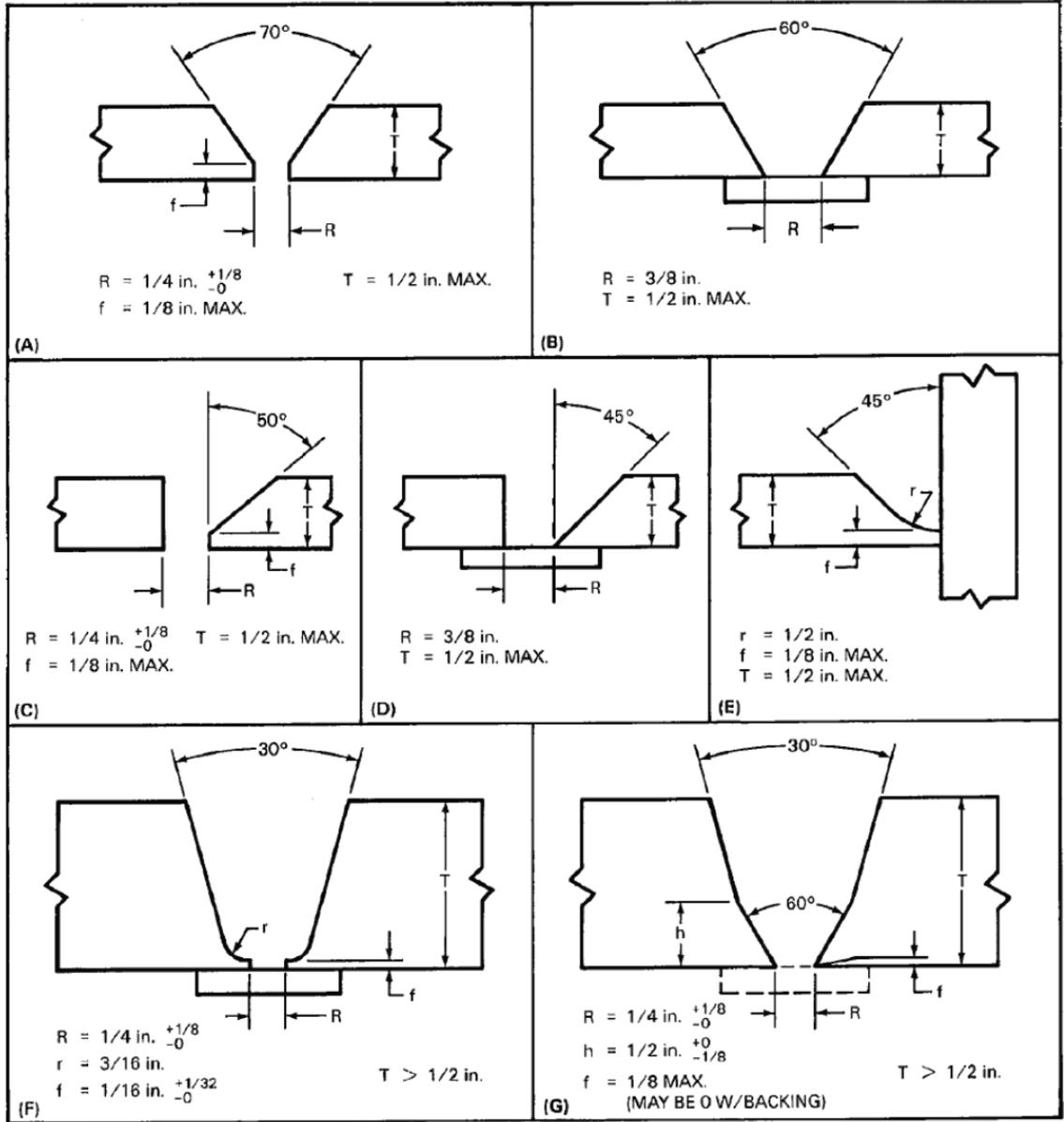
A standard electrode holder is used with ac or dc electrode negative and current settings near the maximum for the size being used. During cutting, the electrode covering will remain in contact with the base metal at the bottom of the groove. Otherwise, the same procedures previously outlined for the AAC process may be employed.

3.2 Joint Design. The design of the weld groove to be filled in an iron casting can greatly influence the properties of the weld and ultimately its performance in service. Base metal thickness and type, filler metal, and accessibility will influence the design of the groove.

3.2.1 Thin Base Metal. Welds in thin cast iron may be made with single-V or single-U grooves. For superficial repairs using steel filler metals, standard steel weld grooves are acceptable. With nickel base filler metals, groove angles should be increased to allow for manipulation of the sluggish weld pool. The root face must be reduced because the nickel base electrodes achieve less root penetration than steel electrodes [see Figure 16(A), (B), (C), (D), and (E)].

3.2.2 Thick Base Metal. For thicknesses greater than approximately 1/2 in. (12.7 mm), grooves that evenly distribute the stresses induced during welding should be used. Double welded joints are effective in such applications when both sides of the joint are accessible. For thicknesses up to 3/4 in. (19 mm), a double-V-groove or a double-bevel-groove should be used. For thicknesses over 3/4 in. a double-U-groove or double-J-groove should be considered.

When only one side of the section is accessible, a modified U-groove may be used. This allows access to the joint root and decreases the width of the weld face,



METRIC VALUES

in.	mm
1/32	0.8
1/16	1.6
1/8	3.2
3/16	4.8
1/4	6.4
3/8	9.5
1/2	12.7

Figure 16 — Suggested Complete Joint Penetration Single Grooves

considerations and weld requirements will determine the appropriate electrode for each application.

5.2.4.1 Cast Iron Electrodes. Cast iron rods are covered with fluxes to improve arc stability, reduce porosity, and add alloying elements. The covering normally is applied by dipping rather than extrusion, due to the irregular surface of the cast iron rods. Such electrodes are classified in ANSI/AWS A5.15-82 as ECI (see Table 6). They are of low comparative cost and produce a weld of similar chemical composition, mechanical properties, microstructure and matching color. As with the bare cast iron rods, appropriate procedures must be closely followed to assure weld quality.

5.2.4.2 Steel Electrodes. ESt (Steel) Classification (see Table 6). This covered all-position electrode with carbon steel core wire is designed specifically for the welding of cast iron. It has a low melting-point covering and differs from the ordinary mild steel electrodes included in ANSI/AWS A5.1-81, *Specification for Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes*. Welds made with this electrode are not readily machineable.

Since it is virtually impossible to prevent the formation of a hard weld metal with low ductility using this type of electrode, its use is largely confined to the repair

of small pits and cracks, with some application in the repair of castings that require no machining. Since the shrinkage of steel is greater than that of cast iron, high tensile stresses develop as the weld metal cools. Stress may be severe enough to cause cracking.

For most repair jobs, the groove preparation is the same as described previously. However, the formation of a hard weld metal of low ductility and the possibility of cracking make it generally advisable in welding any sizable casting to employ studs which key the weld to the unaffected base metal below the weld interface, as shown in Figure 20.

Preheating is employed only when necessary to prevent excessive stresses in other parts of the casting. ESt electrodes generally are used at low current to minimize dilution and consequent weld metal and base metal cracking. Recommended welding currents are 60 to 95 A for 3/32 in. (2.4 mm), 80 to 110 A for 1/8 in. (3.2 mm), and 110 to 150 A for 5/32 in. (4.0 mm) diameter electrodes using DCEP (electrode positive) or AC. The beads should be short and widely separated, to distribute the heat, and each bead should be peened lightly.

The slag volume is low but very alkaline; therefore, slag should be removed completely if the weld area is to be painted.

Table 6
Chemical Composition of Filler Metals, Percent^{2,3c}

AWS Classification	C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni ^{3a}	Cu ^{3b}	Al	Total Other Elements
<u>Nickel Base Electrodes</u>										
ENi-CI	2.0	1.0	4.0	—	0.03	8.0	85 min	2.5	1.0	1.0
ENi-CI-A	2.0	1.0	4.0	—	0.03	8.0	85 min	2.5	1.0-3.0	1.0
ENi-Fe-CI	2.0	1.0	4.0	—	0.03	remainder	45-60	2.5	1.0	1.0
ENiFe-CI-A	2.0	1.0	4.0	—	0.03	remainder	45-60	2.5	1.0-3.0	1.0
ENiCu-A	0.35-0.55	2.3	0.75	—	0.025	3.0-6.0	50-60	35-45	—	1.0
ENiCu-B	0.35-0.55	2.3	0.75	—	0.025	3.0-6.0	60-70	25-35	—	1.0
<u>Mild Steel Electrodes</u>										
ESt	0.15	0.30-0.60	0.03	0.04	0.04	remainder	—	—	—	—

Notes:

- Analysis shall be made for the elements for which specific values are shown in this Table. If, however, the presence of other elements is indicated in the course of routine analysis, further analysis shall be made to determine that the total of these other elements is not present in excess of the limits specified for "Total Other Elements" in the last column of this Table.
- Single values shown are maximum percentages except where otherwise specified.
- Excerpted from A5.15-82.
 - Nickel plus incidental cobalt.
 - Copper plus incidental silver.
 - Chemical composition requirements for the Electrodes are based on weld metal analysis.

Table C1
Base Metals for Procedure Qualification

Group	Specification	Classification	Tensile Strength (Minimum)	
			Ksi	MPa
A. Gray Iron	ASTM A48	Class 20	20	138
		Class 25	25	172
		Class 30	30	207
		Class 35	35	241
		Class 40	40	276
		Class 45	45	310
		Class 50	50	345
		Class 55	55	379
		Class 60	60	414
	ASTM A74	—	21	145
	ASTM A126	Class A	21	145
		Class B	31	214
		Class C	41	283
	ASTM A159	Grade G1800	18	124
		Grade G2500	25	172
		Grade G3000	30	207
		Grade G3500	35	241
		Grade G4000	40	276
	ASTM A319	Grade I	25	172
		Grade II	30	207
		Grade III	40	276
SAE J431	Grade G1800	18	124	
	Grade G2500	25	172	
	Grade G3000	30	207	
	Grade G3500	35	241	
	Grade G4000	40	276	
B. Ductile Iron	SAE J434C	Grade D4018	60	414
		Grade D4512	65	448
		Grade D5506	80	552
		Grade D7003	100	689
	ASTM A536	Grade 60-40-18	60	414
		Grade 65-45-12	65	448
		Grade 80-55-06	80	552
		Grade 100-70-03	100	689
		Grade 120-90-02	120	827
	ASTM A716		60	414
	ASTM A746		60	414

Anexo C4: ANSI/AWS A5.15-90, Specifications for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron.

AWS A5.15 90 ■ 0784265 0000781 T ■

Specification for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron

1. Scope

This specification prescribes requirements for the classification of the following:

- (1) Rods for oxyfuel gas welding
- (2) Electrodes for gas metal arc welding
- (3) Electrodes for flux cored arc welding
- (4) Electrodes for shielded metal arc welding

These filler metals are suitable for welding gray cast iron, malleable cast iron, nodular cast iron, compacted graphite cast iron, and certain alloy cast irons.¹

Part A *General Requirements*

2. Classification

2.1 The electrodes and rods covered by this specification are classified according to chemical composition, as specified in Tables 1A, 1B, and 1C.

2.2 Electrodes and rods classified under one classification shall not be classified under any other classification in this specification.

2.3 The electrodes and rods classified under this specification are intended for oxyfuel gas welding, shielded metal arc welding, gas metal arc welding, or flux cored arc welding, as applicable, but that is

1. Copper-base filler metals frequently used in the braze welding of cast iron are no longer included in this specification. For information pertaining to these materials see A7.6 in the Appendix.

not to prohibit their use with any other process for which they are found suitable.

3. Acceptance

Acceptance² of the welding electrodes shall be in accordance with the provisions of ANSI/AWS A5.01, *Filler Metal Procurement Guidelines*.³

4. Certification

By affixing the AWS specification and classification designations to the packaging, or the classification to the product, the manufacturer certifies that the product meets the requirements of this specification.⁴

5. Units of Measure and Rounding-Off Procedure

5.1 U.S. Customary Units are the standard units of measure in this specification. The SI Units are given as equivalent values to the U.S. Customary Units. The standard sizes and dimensions in the two systems are not identical, and for this reason,

2. See section A3 (in the Appendix) for further information concerning acceptance, testing of the material shipped, and ANSI/AWS A5.01, *Filler Metal Procurement Guidelines*.

3. AWS standards can be obtained from the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, P.O. Box 351040, Miami, Florida 33135.

4. See section A4 (in the Appendix) for further information concerning certification and the testing called for to meet this requirement.

2

conversion from a standard size or dimension in one system will not always coincide with a standard size or dimension in the other. Suitable conversions, encompassing standard sizes of both, can be made, however, if appropriate tolerances are applied in each case.

value shall be rounded to the "nearest unit" in the last right-hand place of figures used in expressing the limiting value in accordance with the rounding off method given in ANSI/AWS A1.1, *Metric Practice Guide for the Welding Industry*.

5.2 For the purpose of determining conformance with this specification, an observed or calculated

Table 1A*
Chemical Composition Requirements
for Undiluted Weld Metal for Shielded Metal Arc
and Flux Cored Arc Welding Electrodes

AWS Classification ^d	UNS Number ^e	Weight Percent ^{a,b,c}										Other Elements, Total
		C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni ^f	Mo	Cu ^g	Al	
Shielded Metal Arc Welding Electrodes												
ENi-CI	W82001	2.0	2.5	4.0	—	0.03	8.0	85 min.	—	2.5	1.0	1.0
ENi-CI-A	W82003	2.0	2.5	4.0	—	0.03	8.0	85 min.	—	2.5	1.0-3.0	1.0
ENiFe-CI	W82002	2.0	2.5	4.0	—	0.03	Rem.	45-60	—	2.5	1.0	1.0
ENiFe-CI-A	W82004	2.0	2.5	4.0	—	0.03	Rem.	45-60	—	2.5	1.0-3.0	1.0
ENiFeMn-CI	W82006	2.0	10-14	1.0	—	0.03	Rem.	35-45	—	2.5	1.0	1.0
ENiCu-A	W84001	0.35-0.55	2.3	0.75	—	0.025	3.0-6.0	50-60	—	35-45	—	1.0
ENiCu-B	W84002	0.35-0.55	2.3	0.75	—	0.025	3.0-6.0	60-70	—	25-35	—	1.0
Flux Cored Arc Welding Electrodes												
ENiFeT3-CI ^h	W82032	2.0	3.0-5.0	1.0	—	0.03	Rem.	45-60	—	2.5	1.0	1.0

*See notes on following page.

Table 1B*
Chemical Composition Requirements
for Core Wire for Shielded Metal
Arc Welding Electrodes

AWS Classification ^d	UNS Number ^e	Weight Percent ^{a,b,c}										Other Elements, Total
		C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni	Mo	Cu	Al	
Shielded Metal Arc Welding Electrodes												
ESt	K01520	0.15	0.60	0.15	0.04	0.04	Rem.	—	—	—	—	—

*See notes on following page.

(Continued)

Anexo C5: ASTM A 247 – 07: Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings.



Designation: A 247 – 67 (Reapproved 1998)

Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings¹

This standard is issued under the fixed designation A 247; 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 This test method covers the classification of graphite in cast irons in terms of type, distribution, and size. This test method is intended to be applicable for all iron-carbon alloys containing graphite particles, and may be applied to gray irons, malleable irons, and the ductile (nodular) irons.

1.2 The reference standards included in this test method are in no way to be construed as specifications. In an appropriate specification for a specific material where graphite microstructure is an important consideration this test method may be used as a reference to define concisely the graphite microstructure required.

1.3 These standards are offered primarily to permit accurate reporting of microstructures of cast irons and to facilitate the comparison of reports by different laboratories or investigators.

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

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*
- E 3 Methods of Preparation of Metallographic Specimens²

3. Summary of Test Method

3.1 The reference diagrams included in this standard form the basis for classification. Characteristic features of graphite particles are designated by numerals and letters. Type, distribution, and size of observed graphite are compared with the idealized microstructures in the standard charts and rated accordingly as closely as possible to the equal or similar microstructures in the charts.

4. Significance and Use

4.1 The comparison of observed graphite particles with the structures shown in the charts give only purely descriptive information on the type, distribution, and size of the graphite in the sample being evaluated. It does not indicate except in a

very broad way the origin of the graphite, or the suitability of the iron-carbon alloy for a particular service.

5. Test Specimens or Samples

5.1 The preferred sample is a section cut from an actual casting that is being evaluated. When this is impractical, a test lug or projection often can be cast attached to the casting and sawed or broken off to be used as the sample. If neither of these methods is convenient, microscopical test coupons, such as that recommended by the Ductile Iron Research Committee (12K) of the American Foundrymen's Society³ should be cast from metal representative of the castings poured.

6. Polishing

6.1 Grinding and polishing may follow the usual accepted metallographic procedures as covered in Methods E 3, except that care must be taken that the graphite is retained at the polished surface and not torn or dragged out. Use of diamond powder polishing compound in one of the final stages of polishing is very effective in retaining the graphite at the polished surface.

7. Classification of Graphite Form with Chart

7.1 The graphite form type chart (Plate I)⁴ is used as a reference standard by scanning the polished specimen under the microscope and noting the graphite forms in the microstructure that more nearly correspond to type designations on the chart.

7.2 Type I is the normal and usually desirable graphite form in ductile iron, although the presence of Type II graphite forms has little or no adverse effect on properties. Graphite forms represented by Types IV through VI often occur in ductile iron in conjunction with Types I and II. The percentages of each graphite type are estimated by observation, or better, by counting the particles of each type. Types present in a sample are to be reported in percentages to total 100. Any convenient magnification that clearly reveals the graphite form may be used.

7.3 Type III is the graphite form most often seen in malleable iron castings after annealing. Some malleable irons may contain Types I or II graphite particles also.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee A-4 on Iron Castings and is the direct responsibility of Subcommittee A04.21 on Testing.

Current edition effective Aug. 25, 1967. Originally issued 1941. Replaces A 247 – 47.

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

³ *Transactions*, American Foundrymen's Society, 1960, p. 655.

⁴ Plates I, II, and III may be obtained from ASTM Headquarters. Order ADJA0247.

7.4 Type VII is the flake graphite form usually seen in gray iron.

8. Classification of Graphite Distribution with Chart

8.1 The graphite distribution chart (Plate II)⁴ is useful principally in rating flake graphite, Type VII, distributions in gray cast iron. Occasionally, however, graphite in malleable or ductile iron may occur in a nonrandom distribution pattern which the distributions B to E may be used to describe.

9. Classification of Graphite Size by Chart

9.1 Two series of size charts, one for flake graphite, and one for nodules, are shown in Plate III⁴ to facilitate comparisons. At exactly 100 diameters magnification the *maximum* dimension of the graphite particles for the various size classes are shown in Table 1.

9.2 For direct comparison with the size classes in Plate III, the specimen to be evaluated should be projected on the ground glass screen, or photographed, at a magnification of exactly 100 diameters. Usually visual comparison with the chart is adequate to define the size class. If carefully calibrated, ocular

scales may be used to measure the serpentine length dimension of flakes or the diameter of nodules. Where a mixture of one or more sizes occurs in the same sample, the sizes may be reported as percentages of the total graphite area represented by the sizes involved. It is a common practice in malleable iron to use nodule count per unit area instead of a comparison chart as given here. Nodule count, with known free carbon content, is a measure of calculated average nodule area.

10. Report of Graphite Microstructure

10.1 To report the microstructure of graphite in cast iron the headings to be used are as follows: Sample identification; graphite form type or types; graphite distribution; graphite size class.

10.2 Graphite type, or types, is designated by a Roman numeral I through VII. Graphite distribution is designated by a capital letter A through E. Graphite size is designated by an Arabic numeral 1 through 8.

10.3 Graphite distribution is always designated for flake graphite irons, but may be omitted for malleable and ductile iron.

10.3.1 For example, a typical gray iron of normal graphite structure might be designated VII A4. If eutectiform graphite is present, the rating might be VII D7. Mixtures of these two may be described by giving both ratings with appropriate percentages, 70 % VII A4, 30 % VII D7.

10.3.2 A high-quality ductile iron could be designated I6. A slightly inferior ductile iron, with somewhat insufficient nodulizing alloy, might be 70 % I6, 30 % IV5.

10.3.3 Graphite in malleable irons may be similarly designated as Types III, II, or I and the size from the nodular size chart.

TABLE 1 Graphite Size

Size Class	Maximum Dimension at $\times 100$, mm ⁴
1	128
2	64
3	32
4	16
5	8
6	4
7	2
8	1

⁴The gradation of sizes shown in each size class from the maximum dimension were computer calculated at the National Bureau of Standards using data obtained from actual micrographs (Wyman, L. L., and Moore, G. A., "Quantitative Metallographic Evaluations of Graphite Microstructures," Modern Castings, Vol 43, No. 1, Jan. 1963, p. 7).

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

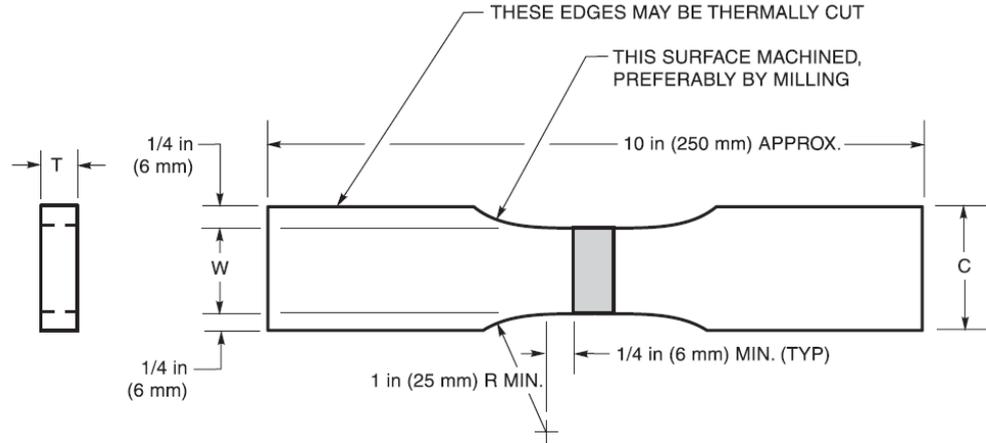
This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo C6: AWS B4.0-07, Standard Methods for Mechanical Testing of Welds

AWS B4.0:2007

CLAUSE 4. TENSION TESTS

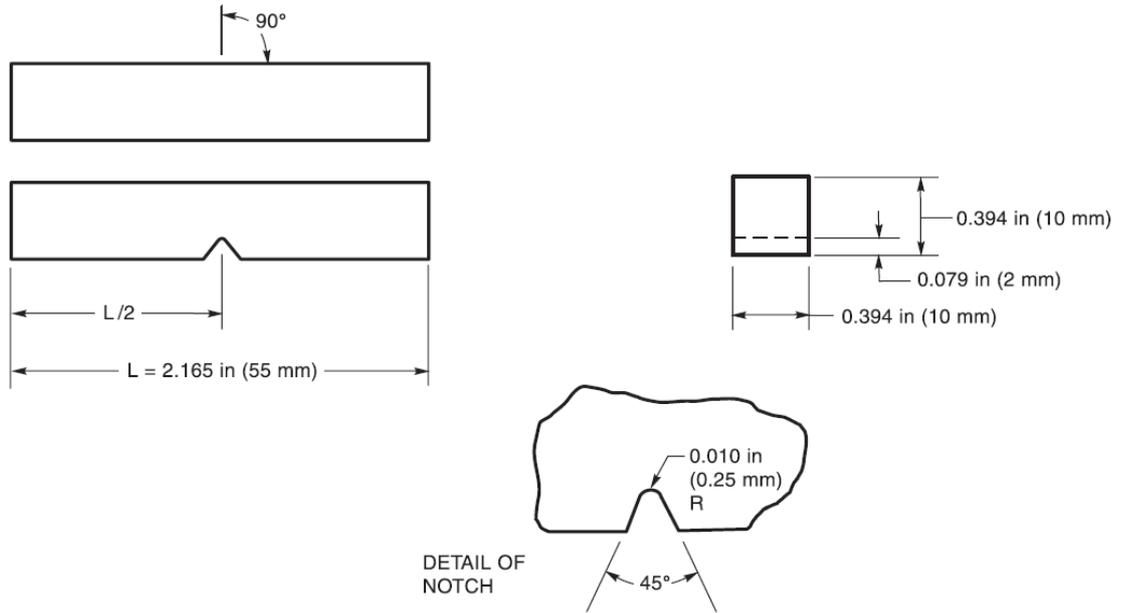


T	W
<1 in (25 mm)	1.50 in \pm 0.01 in (38 mm \pm 0.25 mm)
\geq 1 in (25 mm)	1.00 in \pm 0.01 in (25 mm \pm 0.25 mm)

Notes:

- Thin base metal being tested tends to tear and break near the shoulder. In such cases, dimension C shall be no greater than 1-1/3 times the width of the reduced section.
- Weld reinforcement and backing strip, if any, shall be removed flush with the surface of the specimen.
- When the thickness, t , of the test weldment is such that it would not provide a specimen within the capacity limitations of the available test equipment, the specimen shall be parted through its thickness into as many specimens as required.
- The length of reduced sections shall be equal to the width of the widest portion of weld, plus 1/4 in (6 mm) minimum on each side.
- All surfaces in the reduced section shall be no rougher than 125 microinches (3 micrometers) R_a .
- Narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases, the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits. If the width of the material is less than W , the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

Figure 4.2—Transverse Rectangular Tension Test Specimen (Plate)



NOTE—Dimensional Tolerances shall be as follows:

Notch length to edge	$90^\circ \pm 2^\circ$
Adjacent sides shall be at	$90^\circ \pm 10$ minutes
Cross section dimensions	± 0.003 in (0.076 mm)
Length of specimen (L)	$+0, -0.100$ in (+0, -2.5 mm)
Centering of notch ($L/2$)	± 0.039 in (1 mm)
Angle of notch	$\pm 1^\circ$
Radius of notch	± 0.001 in (0.025 mm)
Notch depth	± 0.001 in (0.025 mm)
Finish requirements	63 microinches (1.5 micrometers) R_a on notched surface and opposite face; 125 microinches (3 micrometers) R_a on other two surfaces

Figure 7.1—Charpy V-Notch Impact Specimen

8. Hardness Tests

8.1 Scope

8.1.1 This clause covers the indentation hardness testing of welds. Test methods include the Brinell, Rockwell, Vickers, and Knoop hardness tests.

8.1.2 When hardness tests are required, test specimen preparation and testing procedures shall conform to the applicable hardness test method standard.

8.1.3 This standard does not specify acceptance criteria.

8.1.4 When this standard is used, the following information shall be furnished:

- (1) The specific type of test and number of specimens required.
- (2) The specific location and orientation of test specimens.
- (3) The specific locations within a test specimen to be tested and number of (indentations) required and surface preparation.
- (4) Base metal specification/identification, and
- (5) Filler metal specification/identification.

8.2 Normative References. The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute mandatory provisions of this test. For undated references, the latest edition of the referenced standard shall apply. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply.

ASTM Documents:

- (1) ASTM E 3, *Methods for Preparation of Metallographic Specimens*
- (2) ASTM E 10, *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*
- (3) ASTM E 18, *Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*
- (4) ASTM E 92, *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*
- (5) ASTM E 110, *Standard Test Method for Indentation Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers*
- (6) ASTM E 384, *Standard Test Method for Micro-indentation Hardness of Materials*

8.3 Summary of Method. A calibrated machine forces an indenter, of specified geometry and under a predeter-

mined load, into the surface of the test specimen and some measure of the resultant impression is expressed as a specific measure of hardness.

8.4 Significance. Hardness test provide quantitative data which can be compared, analyzed, and used in the design of welding procedures. Hardness tests may also be used in the analysis of weld failures. The Brinell (E10), Rockwell (E18), and Vickers (E92) tests produce relatively large indentations and are used for evaluating the weld joint and unaffected base metal. The microhardness tests, Knoop and Vickers (E384), which produce relatively small indentations, are widely used for hardness measurements in cross-sections of weld, heat-affected zones (HAZs), or extremely localized weld areas.

When selecting a hardness test method for use on weld overlays, the thickness of the weld overlays and the base metal must be within the thickness limits specified in the applicable ASTM standard test method for the particular hardness testing technique (for example, ASTM E 18 paragraph 6.3).

8.5 Apparatus. The apparatus for conducting the various hardness tests shall be in accordance with one of the following applicable ASTM standard test methods:

- (1) Brinell, E 10;
- (2) Rockwell, E 18;
- (3) Vickers, E 92;
- (4) Microhardness (Knoop and Vickers), E 384; or
- (5) Portable Hardness, E 110.

8.6 Specimens

8.6.1 All requirements of the applicable ASTM standard test method, except those modified by the following sections, shall apply.

8.6.2 Brinell, Vickers, and Rockwell hardness test methods are generally used to evaluate unaffected base metal and weld metal, unless otherwise specified. In order to qualify as a valid weld metal hardness test, the edge of an impression shall be no closer than three times the major dimension of an indentation from the edge of the weld metal in the prepared specimen.

8.6.3 Vickers and Knoop microhardness test methods are the recommended test methods for fine-scale traverse across single or multiple weld regions, unless otherwise specified.

8.6.4 Hardness test should be performed on surfaces prepared in accordance with the applicable hardness test method standard. Weld-metal hardness tests are permitted only on weld joint cross sections or local areas of the weld reinforcement prepared before testing.

ANEXOS D

Anexo D1: Especificaciones del termómetro infrarojo DT-8867H

CEM

DT-8867H/8868/8868H/8869/8869H
Professional High Temperature InfraRed Thermometers

Professional High Temperature InfraRed Thermometers



CE

EMC
EN: 61326
EN: 60825-1

Applications

- Plant/General Maintenance
- HVAC/R
- Transportation/Automotive
- Cooling and Reheating
- Serving areas
- Food service Equipment
- Cold storage

DT-8867H/8868/8868H/8869/8869H

Professional High Temperature InfraRed Thermometers



Model 8869

8867H/8868/8868H/8869/8869H Series provide much faster, easy and accurate readings for most surface temperature measurements with Dual laser pointers.

Two laser points converge to a single spot when the unit is at the optimal distance from the object being measured.

- 150ms faster sampling time with 1% accuracy
- High 50 to 1 distance to target ratio measures smaller surface areas at greater distances
- Widest temperature range
- Unique flat surface, modern housing design
- Built-in dual laser pointers for accurate targeting
- Automatic Data Hold & Trigger Lock
- Max, Min, DIF, AVG record
- High and low alarm
- Emissivity Digitally adjustable from 0.10 to 1.0
- USB interface
- Compatible with all standard connector Type K thermocouples



- 50 : 1 distance to spot size
- Dual laser pointers

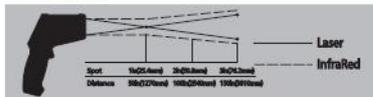


EMC
EN: 61326
EN: 60825-1

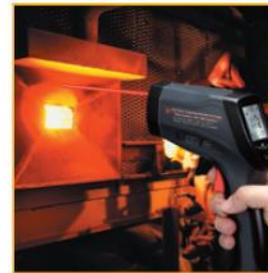
Features

User selectable °C or °F
Dual Laser targeting
Automatic Data Hold
Auto Power Off
White Backlit LCD Display
Overrange indication
High Temperature
Max, Min, DIF, AVG record
High / low alarm, Trigger lock
Adjustable emissivity
Reading memory (8868/8869/8868H/8869H)
Type K input
USB interface

Distance (D) to Spot size(S)
D:S=50:1(8869)



(Unit: mm)



Specifications

	8867H	8868	8869	8868H	8869H
IR Temp. Range	-50°C to 1650°C/ -58°F to 3002°F	-50°C to 1200°C/ -58°F to 2192°F	-50°C to 1600°C/ -58°F to 2912°F	-50°C to 1850°C/ -58°F to 3362°F	-50°C to 2200°C/ -58°F to 3992°F
Response Time	Less than 150ms				
Resolution	0.1° up 1000°, 1° over 1000°				
Basic Accuracy (IR)	±1.0% of reading				
Optical Resolution	30:1 Distance to Spot size	50:1 Distance to Spot size			
Emissivity	Adjustable 0.10~1.0				
Type K Temp. Range	-50°C to 1370°C/ -58°F to 2498°F				
Basic Accuracy (TK)	±1.5% of reading				
Readings memories		99	99	99	99

Size(HxWxD): 204mm x 155mm x 52mm
Weight: 320g

Accessories:
9V battery, USB Cable, Tripod, Software, Type-K temperature probe,
Carrying case and Gift box

• Emissivity Values

Substance	Thermal Emissivity	Substance	Thermal Emissivity
Asphalt	0.90 to 0.98	Cloth (black)	0.98
Concrete	0.94	Human skin	0.98
Cement	0.96	Lather	0.75 to 0.80
Sand	0.90	Charcoal (powder)	0.96
Earth	0.92 to 0.96	Lacquer	0.80 to 0.95
Water	0.92 to 0.96	Lacquer (matt)	0.97
Ice	0.96 to 0.98	Rubber (black)	0.94
Snow	0.83	Plastic	0.85 to 0.95
Glass	0.90 to 0.95	Timber	0.90
Ceramic	0.90 to 0.94	Paper	0.70 to 0.94
Marble	0.94	Chromium oxides	0.81
Plaster	0.80 to 0.90	Copper oxides	0.78
Mortar	0.89 to 0.91	Iron oxides	0.78 to 0.82
Brick	0.93 to 0.96	Textiles	0.90

14. Maintenance

- Repairs or service are not covered in this manual and should only be carried out by qualified trained technician.
- Periodically, wipe the body with a dry cloth. Do not use abrasives or solvents on this instrument.
- For service, use only manufacturer's specified parts.

Product Certificate

Product Name: InfraRed Thermometer

Product Model: DT-8867H

Main Unit Serial Number: 11127511

Measurement Conditions: Temperature: $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$

Humidity: $50 \pm 20\% \text{RH}$

Measurement Results:

RAN GE	INPUT ($^{\circ}\text{C}$)	TOLERANCE			Resol ution	READING		RESULT S
		(%+dgts)				min	max	
-50to 1650 $^{\circ}\text{C}$	50.0	1.0	+	10	0.1	48.5	51.5	49.7
	300.0	1.0	+	10	0.1	296.0	304.0	299.4
	600.0	1.5	+	20	0.1	589.0	611.0	605.1
	900.0	2.5	+	0	0.1	877.5	922.5	885.0
	1200.0	2.5	+	0	0.1	1170.0	1230.0	1204.0

This is to certify the product designated above is conform to the quality standard after inspection.

Tested by: Angle

Date of Measurement: 2012.08.01



ANEXOS E

Anexo D1: Composición de los reactivos químicos utilizados (ASTM E-407 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys)

Aleación Níquel – Cobre	
8 g	Fe Cl ₃
2 ml	HCL
100 ml	Agua destilada

Nital 2	
4 ml	HNO ₃
196 ml	Etanol 195%



TABLE 1 Continued

Metal	Echants	Uses
Tool steels	74a, 80, 14 110 210, 211 214, 214 224, 225	general structure grain boundaries in tempered tool steel colors ferrite, lower alloy grades colors cementite carbides attacked and colored
Superalloys	86, 87, 94, 221, 226 111 111	general etch general structure γ' depletion
<i>Lead Base:</i> Pure Pb	57, 112 113	general structure for alternate polishing and etching
Pb + <2 Sb	114, 115, 57, 74b 113	general structure for alternate polishing and etching
Pb + >2 Sb	114, 57, 74b 113	general structure for alternate polishing and etching
Pb + Ca	112 113	general structure for alternate polishing and etching
Pb alloys Babbitt	116, 117b 74b	general structure general structure
<i>Magnesium Base:</i> Pure Mg	118, 119, 74a, 120, 121, 122 123	general structure stain-free polish-etch
Mg-Mn	119, 74a, 124, 122	general structure
Mg-Al, Mg-Al-Zn (Al + Zn <5 %)	118, 119, 74a, 125, 124, 123, 122 120, 125, 126, 127 124, 126, 127	general structure general structure phase identification grain structure
Mg-Al, Mg-Al-Zn (Al + Zn >5 %)	118, 119, 74a, 125, 124, 121, 122 120, 125, 126, 127	general structure phase identification general structure
Mg-Zn-Zr and Mg-Zn-Th-Zr	118, 119, 74a, 1d, 128, 124, 126, 127, 121, 122 120, 121	phase identification general structure
Mg-Th-Zr and Mg-Rare Earth-Zr	118, 119, 74a, 1d, 124, 127, 121, 122 120, 121	phase identification general structure
<i>Molybdenum Base:</i> As cast	98c, 129, 130, 131 132a	general structure chemical polish prior to etching
<i>Nickel Base:</i> Pure Ni and high Ni alloys	133, 134, 47, 135, 136, 25, 108, 31c 137	general structure grain boundary sulfidation
Ni-Ag	38, 138, 50, 139	general structure
Ni-Al	50, 140, 141, 142, 89, 143	general structure
Ni-Cr	144, 50, 83, 134, 145, 98, 146, 147, 13a	general structure
Ni-Cu	38, 138, 50, 133, 140, 25, 134, 47, 48b, 94, 108, 34	general structure
Ni-Fe	50, 140, 141, 83, 134, 148, 40, 107, 149 74e, 25, 150	general structure orientation pitting
Ni-Mn	74e	general structure
Ni-Mo	143	general structure
Ni-Ti	143, 151, 50, 133	general structure
Ni-Zn	152	general structure
Superalloys	94, 105, 138, 153, 12, 87, 89, 212, 226 25, 94 107, 111, 13a 133 154 154 19b, 155, 156 22a 157 107 154 18 213	general structure grain size reveals microstructural inhomogeneity grain boundary sulfidation fine precipitation structure differential matrix and nonmetallic staining for passive alloys (for example, UNS Alloy N06625) specific for UNS Alloy N10004 submicroscopic structure in aged super-alloys particu- larly for electron microscopy. Stains the matrix when γ' precipitates are present γ' banding pre-etch activation for passive specimens colors carbide and γ'

TABLE 2 *Continued*

Etchant	Composition	Procedure
37	1 g FeCl ₃ 10 mL HCl 100 mL water	Immerse or swab few seconds at a time until desired results are obtained
38	8 g FeCl ₃ 25 mL HCl 100 mL water	Swab 5–30 s.
39	5 g FeCl ₃ 10 mL HCl 1 g CuCl ₂ 0.1 g SnCl ₂ 100 mL water	Immerse or swab few seconds at a time until desired results are obtained.
40	5 g FeCl ₃ 16 mL HCl 60 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %)	Immerse or swab few seconds to few minutes.
41	2 g K ₂ Cr ₂ O ₇ 8 mL H ₂ SO ₄ 4 drops HCl 100 mL water	Use a certified and tested hood. Add the HCl just before using. Immerse 3–60 s.
42	10 g cupric ammonium chloride 100 mL water NH ₄ OH	Add NH ₄ OH to solution until neutral or slightly alkaline. Immerse 5–60 s.
43	1 g ammonium persulfate 60 mL water 20 mL NH ₄ OH	Immerse 5–30 s.
44	50 mL NH ₄ OH 20–50 mL H ₂ O ₂ (3 %) 0–50 mL water	Use fresh. Peroxide content varies directly with copper content of alloy to be etched. Immerse or swab to 1 min. Film on etched aluminum bronze removed by No. 82.
45	1 g CrO ₃ 100 mL water	Use a certified and tested hood. Electrolytic at 6 V for 3–6 s. Use aluminum cathode.
46	15 mL NH ₄ OH 15 mL H ₂ O ₂ (3 %) 15 mL water 4 pellets NaOH	When mixing, add NaOH pellets last. For best results use before pellets have dissolved.
47	5 g NaCN or KCN 5 g (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ 100 mL water	Use a certified and tested hood—Can give off extremely poisonous hydrogen cyanide. Precaution—Also poisonous by ingestion as well as skin contact.
48	10 g NaCN 100 mL water	Use a certified and tested hood—Can give off extremely poisonous hydrogen cyanide. Precaution—Also poisonous by ingestion as well as skin contact. Electrolytic at 6 V: (a) 5 s for sigma. (b) 30 s for ferrite and general structure. (c) to 5 min for carbides.
49	3 g FeSO ₄ 0.4 g NaOH 10 mL H ₂ SO ₄ 190 mL water	Electrolytic at 8–10 V (0.1 A) for 5–15 s.
50	5 mL acetic acid 10 mL HNO ₃ 85 mL water	Use a certified and tested hood. Do not store. Electrolytic at 1.5 V for 20 to 60 s. Use platinum wires.
51	2 g FeCl ₃ 5 mL HCl 30 mL water 60 mL ethanol or methanol	Immerse few minutes.
52	1 g sodium dichromate 1 g NaCl 4 mL H ₂ SO ₄ 250 mL water	Swab few seconds.
53	1–5 mL NH ₄ OH 100 mL water	Immerse 5–60 s.