

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

Tema: “Análisis de Recocido en Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018 y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas”

Trabajo de Investigación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Diseño Mecánico

Autor: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega

Director: Ing. Mg. Pablo Raúl Valle Velasco

Ambato - Ecuador

2012

Al Consejo de Posgrado de la UTA.

El tribunal receptor de la defensa del trabajo de investigación con el tema: “Análisis de Recocido en Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018 y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas”, presentado por: Wilson Henry Vaca Ortega y conformado por: Ing. Mg. Edison Viera Alulema, el Ing. Mg. Manolo Córdova Suárez, y el Ing. Mg. Fabián Morales Fiallos, Miembros del Tribunal, Ing. Mg. Pablo Valle Velasco, Director del trabajo de investigación y presidido por: Ing. Mg. Francisco Pazmiño Gvilanes Presidente del Tribunal; Ing. Mg. Juan Garcés Chávez Director del CEPOS – UTA, una vez escuchada la defensa oral el Tribunal aprueba y remite el trabajo de investigación para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing.Mg. Francisco Pazmiño Gavilanes
Presidente del Tribunal de Defensa

Ing.Mg. Juan Garcés Chávez
DIRECTOR CEPOS

Ing. Mg. Pablo Valle Velasco
Director de Trabajo de investigación

Ing.Mg. Edison Viera Alulema
Miembro del Tribunal

Ing.Mg. Manolo Córdova Suárez
Miembro del Tribunal

Ing.Mg. Fabián Morales Fiallos
Miembro del Tribunal

AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema “Análisis de Recocido en Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018 y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas”, nos corresponde exclusivamente el Ingeniero Wilson Henry Vaca Ortega y del Ingeniero Mg. Pablo Raúl Valle Velasco Director del Trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Wilson Henry Vaca Ortega
Autor

Ing. Mg. Pablo Raúl Valle
Director de Tesis

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte el un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de trabajo de investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Wilson Henry Vaca Ortega

AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro padre celestial por haberme dado el ser, el entendimiento, la salud.

A mi Madre en el Cielo y a mi Padre aquí en la tierra, personas que me dieron la vida y me sembraron la semilla del Amor, Aprendizaje y de la Superación.

A las autoridades y profesores de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA, al Ing. Mg. Edison Viera Subdecano de la Facultad. Al Ing. Mg. Santiago Cabrera Coordinador de la Maestría por el apoyo incondicional brindado.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi Madre Anita que desde el cielo siempre cuida y guía mis pasos. A mi padre Wilson por estar pendiente de los sucesos de mi existencia. A Myriam mi compañera de vida y fuente inagotable de inspiración por su paciencia y apoyo permanente. A mis hermanos Jenny, Gabriel y Soraya por las alegrías y tristezas compartidas. A mi querida Sobrina Samantha por su ternura incondicional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

TÍTULO	I
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO	XX

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.- TEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.1.- CONTEXTUALIZACIÓN	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 DEL PROBLEMA	4
1.2.6.1.- DELIMITACIÓN DE CONTENIDOS	4
1.2.6.2.- DELIMITACIÓN ESPACIAL	5
1.2.6.3.- DELIMITACIÓN TEMPORAL	5
1.3.- JUSTIFICACIÓN	5
1.4.- OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS	6
1.4.1.- GENERAL	6
1.4.2.- ESPECÍFICOS	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	8
2.1.1.- ANTECEDENTES	8
2.1.2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	9
2.1.2.1.- El Acero	9
2.1.2.2.- Microestructura de los Aceros	11
2.1.2.3.- Designación AISI/ SAE del Acero	13
2.1.2.4.- Tratamientos Térmicos	14
2.1.2.4.1.- Recocido	15
2.1.2.4.2.- Normalizado	22
2.1.2.5.- Soldadura	24
2.1.2.5.1.- Soldadura SMAW (Soldadura de Arco Metálico con electrodo Revestido)	27
2.1.2.6.- Designación de electrodos de soldadura SMAW para acero al carbono	32
2.1.2.6.1.- Electrodo para aceros al Carbono	33
2.1.2.6.2.- Zonas Presentes en la soldadura	36
2.1.2.7.- Propiedades mecánicas de los materiales	37
2.1.2.7.1.- Ensayo de Tracción	39
2.1.2.7.2.- Dureza	47
2.1.2.7.3.- Impacto	50
2.1.2.7.4.- Ensayos Metalográficos	51
2.2.- FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	54
2.3.- FUNDAMENTACIÓN LEGAL	55
2.4.- CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	56
2.5.- HIPÓTESIS	56
2.6.- SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	56
2.6.1.- VARIABLE INDEPENDIENTE	56
2.6.2.- VARIABLE DEPENDIENTE	56

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.- ENFOQUE	57
3.2.- MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.2.1.- Experimental	57
3.2.2.- Bibliográfica	57
3.3.- NIVEL O TIPO DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.3.1.- Exploratorio	58
3.3.2.- Descriptivo	58
3.3.3.- Correlacional	58
3.3.4.- Estudio de Casos	58
3.4.- POBLACIÓN Y MUESTRA	59
3.4.1.- POBLACIÓN	59
3.4.2.- MUESTRA	59
3.5.- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	60
3.6.- RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	61
3.7.- PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	61

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	62
4.1.1.- PROCESO DE OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	62
4.2.- PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	64
4.2.1.- ANÁLISIS DEL ACERO AISI 1018 COMO VIENE DE FÁBRICA	66
4.2.1.1.- Análisis Metalográfico del Acero 1018 como viene de Fábrica	67
4.2.2.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	69

4.2.2.1.- Ensayo de Tracción de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Sin Tratamiento Térmico	70
4.2.2.2.- Ensayo Metalográfico de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Sin Tratamiento Térmico	75
4.2.2.3.- Ensayo de Dureza de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Sin Tratamiento Térmico	79
4.2.2.4.- Ensayo de Impacto de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Sin Tratamiento Térmico	80
4.2.3.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 1 HORA	81
4.2.3.1.- Ensayo de Tracción de la Soldadura de Acero AISI 1018 Con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 600 °C por 1 Hora	82
4.2.3.2.- Ensayo Metalográfico de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 600 °C por 1 Hora	87
4.2.3.3.- Ensayo de Dureza de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 600 °C por 1 Hora	91
4.2.3.4.- Ensayo de Impacto de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 600 °C por 1 Hora	92
4.2.4.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 1 HORA	93
4.2.4.1.- Ensayo de Tracción de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 780 °C por 1 Hora	94
4.2.4.2.- Ensayo Metalográfico de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 780 °C por 1 Hora	99
4.2.4.3.- Ensayo de Dureza de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 780 °C por 1 Hora	103
4.2.4.4.- Ensayo de Impacto de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 780 °C por 1 Hora	104
4.2.5.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 1 HORA	105
4.2.5.1.- Ensayo de Tracción de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 870 °C por 1 Hora	106

4.2.5.2.- Ensayo Metalográfico de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 870 °C por 1 Hora	111
4.2.5.3.- Ensayo de Dureza de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 870 °C por 1 Hora	115
4.2.5.4.- Ensayo de Impacto de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 870 °C por 1 Hora	116
4.2.6.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 3 HORAS	117
4.2.6.1.- Ensayo de Tracción de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 600 °C por 3 Horas	118
4.2.6.2.- Ensayo Metalográfico de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 600 °C por 3 Horas	123
4.2.6.3.- Ensayo de Dureza de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 600 °C por 3 Horas	127
4.2.6.4.- Ensayo de Impacto de la Soldadura de Acero AISI 1018 Con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 600 °C por 3 Horas	128
4.2.7.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 3 HORAS	129
4.2.7.1.- Ensayo de Tracción de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 780 °C por 3 Horas	130
4.2.7.2.- Ensayo Metalográfico de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 780 °C por 3 Horas	135
4.2.7.3.- Ensayo de Dureza de La Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 780 °C por 3 Horas	139
4.2.7.4.- Ensayo de Impacto de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 780 °C por 3 Horas	140
4.2.8.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 3 HORAS	141
4.2.8.1.- Ensayo de Tracción de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 870 °C por 3 Horas	142
4.2.8.2.- Ensayo Metalográfico de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 870 °C por 3 Horas	147

4.2.8.3.- Ensayo de Dureza de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 870 °C por 3 Horas	151
4.2.8.4.- Ensayo de Impacto de la Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018, Recocido a 870 °C por 3 Horas	152
4.3.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	153
4.3.1.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN	153
4.3.2.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO METALOGRAFICO	166
4.3.3.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA	175
4.3.4.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO	179
4.4.- VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	182

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES	184
5.2.- RECOMENDACIONES	187

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1.- DATOS INFORMATIVOS	189
6.2.- ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	190
6.3.- JUSTIFICACIÓN	190
6.4.- OBJETIVOS	191
6.4.1.- General	191

6.4.2.- Específicos	191
6.5.- ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	191
6.6.- FUNDAMENTACIÓN	192
6.6.1.- Cálculos del Ensayo de Tracción	192
6.6.1.1.-Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción	193
6.6.1.2.-Cálculo de la Resistencia a la Cedencia	193
6.6.1.3.- Cálculo del porcentaje de elongación	194
6.6.1.4.- Cálculo del porcentaje de reducción de área	194
6.6.1.5.- Cálculo del Módulo de Young	195
6.6.2.- Cálculos del Ensayo Metalográfico	196
6.6.2.1.- Determinación del Tamaño de Grano	196
6.6.2.2.- Determinación del porcentaje de los componentes microestructurales	198
6.6.3.- Cálculos del Ensayo de Dureza	199
6.6.4.- Registros del Ensayo de Impacto	200
6.7.- METODOLOGÍA	201
6.7.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN	201
6.7.2.- ENSAYO METALOGRÁFICO	213
6.7.3.- ENSAYO DE DUREZA	222
6.7.3.- ENSAYO DE IMPACTO	227
6.8.- ADMINISTRACIÓN	231
6.9.- PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN	232
7.- BIBLIOGRAFÍA	233

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama de Fases Hierro – Carburo de Hierro. [Adaptado de Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. ASM International, Materials Park, OH.]	11
Figura 2.2(a) Efecto del trabajo en frío sobre las propiedades de una aleación de Cu- 35% Zn. (b) Efecto de la temperatura de recocido sobre las propiedades de Cu-35% Zn trabajado en frío al 75%.	17
Figura 2.3 Efecto de la temperatura de recocido sobre la microestructura de metales trabajados en frío: (a) trabajado en frío, (b) después de la recuperación, (c) después de la recristalización y (d) después del crecimiento de grano.	18

Figura 2.4 Microfotografías que muestran el efecto de la temperatura de recocido sobre el tamaño de grano en el latón. También se pueden observar bandas de deslizamiento en estas estructuras, (a) Recocido a 400°C, (b) recocido a 650°C y (c) recocido a 800°C (x 75).	19
Figura2.5 Región del diagrama de fases hierro- carburo de hierro próximo al eutectoide se indica el tramo de temperaturas de tratamiento térmico del acero al carbono	20
Figura2.6 Ciclos de calentamiento y enfriamiento para tratamientos térmicos no endurecedores de alivio de esfuerzos, recocido por tratamiento, normalización y recocido de aceros hipo e hipereutectoides.	23
Figura2.7 La operación de soldadura debe haberse visto en forma similar a esta ilustración durante el siglo XVII.	24
Figura2.8 Clasificación AWS de los procesos de soldadura y otros procesos relacionados	26
Figura2.9 Proceso de Soldadura de Arco Metálico con electrodo revestido	29
Figura2.10Diagrama esquemático de la zona afectada por el calor y las sub-zonas derivadas indicadas sobre un diagrama Fe-Fe ₃ C	36
Figura2.11 (a) Ilustración esquemática de cómo una carga de tracción produce un alargamiento y una deformación lineal positiva. Las líneas discontinuas representan la forma antes de la deformación; las líneas sólidas, después de la deformación. (b) Ilustración esquemática de cómo una carga de compresión produce una contracción y una deformación lineal negativa. (c) Representación esquemática de la deformación de cizalladura, γ , donde $\gamma = \tan\theta$. (d) Representación esquemática de una deformación torsional (o sea, ángulo de giro ϕ) producido por un par aplicado T	38
Figura2.12Probeta de tracción normalizada con sección recta circular.	39
Figura 2.13 Esquema del aparato utilizado para realizar ensayos de tracción. La probeta es alargada por el cabezal móvil; la celda de carga y el extensómetro miden, respectivamente, la carga aplicada y el alargamiento.	40
Figura2.14Curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación de aluminio	42
Figura 2.15 Determinación del límite elástico convencional al 0.2% de deformación en el hierro fundido.	43
Figura 2.16 Curva típica de tracción hasta la fractura, punto F. La resistencia a la tracción TS está indicada en el punto M. Los insertos circulares representan la geometría de la probeta deformada en varios puntos de la curva.	44
Figura 2.17 Esquema y probetas del ensayo Charpy e Izod.	51
Figura 4.1 Comparación de Resistencia a la Tracción (Sut), Tiempo de recocido: 1 hora	156
Figura 4.2 Comparación de Resistencia a la Tracción (Sut), Tiempo de recocido: 3 horas	157
Figura 4.3 Comparación de Resistencia a la Cedencia (Sy) Tiempo de recocido: 1 hora	158
Figura 4.4 Comparación de Resistencia a la Cedencia (Sy), Tiempo de recocido: 3 horas	159
Figura 4.5 Comparación del porcentaje de elongación (%EL), Tiempo de recocido: 1 hora	160
Figura 4.6 Comparación del porcentaje de elongación (%EL), Tiempo de recocido: 3 horas	161
Figura 4.7 Comparación del porcentaje de Reducción de Área, Tiempo de recocido: 1 hora	162

Figura 4.8 Comparación del porcentaje de Reducción de Área, Tiempo de recocido: 3 horas	163
Figura 4.9 Comparación del Módulo de Young, Tiempo de recocido: 1 hora	164
Figura 4.10 Comparación del Módulo de Young, Tiempo de recocido: 3 horas	165
Figura 4.11 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el metal base, Tiempo de recocido: 1 hora.	168
Figura 4.12 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el metal base, Tiempo de recocido: 1 hora.	168
Figura 4.13 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en la ZAT, Tiempo de recocido: 1 hora.	169
Figura 4.14 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en la ZAT, Tiempo de recocido: 3 horas.	169
Figura 4.15 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido: 1 hora.	170
Figura 4.16 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido: 3 horas.	170
Figura 4.17 Comparación del Porcentaje de Perlita en el metal base, Tiempo de recocido: 1 hora.	171
Figura 4.18 Comparación del Porcentaje de Perlita en el metal base, Tiempo de recocido: 3 horas.	171
Figura 4.19 Comparación del Porcentaje de Perlita en la ZAT, Tiempo de recocido: 1 hora.	172
Figura. 4.20 Comparación del Porcentaje de Perlita en la ZAT, Tiempo de recocido: 3 horas.	172
Figura 4.21 Comparación del Porcentaje de Ferrita Alotriomórfica en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido: 1 hora.	173
Figura 4.22 Comparación del Porcentaje de Ferrita Alotriomórfica en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido 3 horas.	173
Figura 4.23 Comparación del Porcentaje de Ferrita Acicular en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido: 1 hora.	174
Figura 4.24 Comparación del Porcentaje de Ferrita Acicular en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido 3 horas.	174
Figura 4.25 Comparación de la dureza máxima obtenida a 1mm del depósito de soldadura. Tiempo de recocido: 1 hora.	176
Figura 4.26 Comparación de la dureza máxima obtenida a 1mm del depósito de soldadura. Tiempo de recocido: 3 horas.	176
Figura 4.27 Comparación de la dureza mínima obtenida a 5 mm del depósito de soldadura. Tiempo de recocido: 1 hora.	177
Figura 4.28 Comparación de la dureza mínima obtenida a 5 mm del depósito de soldadura. Tiempo de recocido: 3 horas.	177

Figura 4.29 Comparación de la dureza a 10 mm del depósito de soldadura a partir de donde la dureza no tiene variación. Tiempo de recocido: 1 hora.	178
Figura 4.30 Comparación de la dureza a 10 mm del depósito de soldadura a partir de donde la dureza no tiene variación. Tiempo de recocido: 1 hora.	178
Figura 4.31 Comparación la Energía de Rotura de Impacto, Tiempo de recocido: 1 hora	180
Figura 4.32 Comparación la Energía de Rotura de Impacto, Tiempo de recocido: 3 horas	181
Figura 6.1 Determinación del límite elástico convencional al 0.2% de deformación en la probeta 1.1 de junta de acero AISI 1018 soldado con electrodo AWS E7018 recocido a 600°C durante una hora	194
Figura 6.2 Componentes microestructurales en el metal base de la junta de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de recocido a 600°C durante una hora.	198
Figura 6.3 Componentes microestructurales la ZAT de la junta de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de recocido a 600°C durante una hora.	198
Figura 6.4 Componentes microestructurales de depósito de soldadura de la junta de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de recocido a 600°C durante una hora	199
Figura 6.5 Ejes de acero AISI 1018 (Fábrica)	202
Figura 6.6 Corte de las probetas de acero AISI 1018	203
Figura 6.7 Electrodo AWS E-7018 (ANEXO A2)	203
Figura 6.8 Soldadura de las probetas	204
Figura 6.9 Probetas soldadas	204
Figura 6.10 Probetas soldadas	205
Figura 6.11 Probetas soldadas para maquinado	205
Figura 6.12 Medidas de las probetas para maquinado	205
Figura 6.13 Maquinado de las probetas según especificaciones ASTM E8:04 espécimen 01	206
Figura 6.14 Probetas listas para realizar el recocido	206
Figura 6.15 Horno para realizar tratamientos térmicos.	207
Figura 6.16 Diagrama de Tratamiento	207
Figura 6.17 Horno con las probetas para el recocido	208
Figura 6.18 Probetas recocidas	208
Figura 6.19 Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton.	209
Figura 6.20 Marcas calibradas para colocar el deformímetro.	209
Figura 6.21 Probeta colocada en la Máquina Universal.	210
Figura 6.22 Toma de datos en la Máquina Universal.	210
Figura 6.23 Probeta deformada.	211
Figura 6.24 Probeta deformada para calibrar.	211
Figura 6.25 Gráfico Esfuerzo-Deformación	212
Figura 6.26 Placas de acero AISI 7018	214
Figura 6.27 Fresadora utilizada para la preparación de la probeta	215

Figura 6.28 Probetas recocidas a 600°C por una hora	215
Figura 6.29 Montaje de la probeta en la prensa hidráulica manual.	216
Figura 6.30 Montaje de la probeta en baquelita.	216
Figura 6.31 Desbaste grueso	217
Figura 6.32 Desbaste fino	217
Figura 6.33 Pulido de la probeta	218
Figura 6.34 Probetas listas para el Ataque Químico	218
Figura 6.35 Ataque Químico con reactivo Nital 4	219
Figura 6.36 Probetas lista para el análisis	219
Figura 6.37 Sistema de circuito cerrado	220
Figura 6.38 Observación de microestructuras	220
Figura 6.39 Preparación de las Probetas	223
Figura 6.40 Durómetro	224
Figura 6.41 Aplicación de la probeta en el Durómetro	224
Figura 6.42 Tablero Indicador del Durómetro	225
Figura 6.43 Mediciones desde el centro de la Soldadura	225
Figura 6.44 Curva característica de la dureza a medida q se aleja del centro de la soldadura.	226
Figura 6.45 Probetas preparadas para realizar el ensayo de Impacto según ASTM 23:02	228
Figura 6.46 Péndulo Charpy	229
Figura 6.47 Probeta anclada al péndulo Charpy	229
Figura 6.48 Probeta ensayada	230
Figura 6.49 Resultados de Probetas ensayadas	230

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Métodos de soldadura.	25
Tabla 2. 2. Especificaciones ANSI/AWS para los electrodos revestidos.	29
Tabla 2.3.Posición de operación del electrodo	32
Tabla 2.4.Características de los electrodos.	33
Tabla 2.5.Características mecánicas requeridas de los electrodos de acero al carbono.	35
Tabla 2.6.Propiedades mecánicas típicas de varios metales en el estado de recocido y de pureza comercial	46
Tabla 2.7.Técnicas de ensayo de dureza	47
Tabla 2.8. Comparación de ensayos de dureza típicos.	49
Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 sin tratamiento térmico.	153
Tabla 4.2. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 600°C durante 1 hora.	153

Tabla 4.3. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 780°C durante 1 hora.	154
Tabla 4.4. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 870°C durante 1 hora.	154
Tabla 4.5. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 600°C durante 3 horas.	154
Tabla 4.6. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 780°C durante 3 horas.	155
Tabla 4.7. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 870°C durante 3 horas.	155
Tabla 4.8. Resultados tamaño de grano de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas por una hora.	166
Tabla 4.9. Resultados tamaño de grano de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas por tres horas.	166
Tabla 4.10. Resultados de porcentaje de perlita de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 en la ZAT y en el metal base recocidas durante una hora.	166
Tabla 4.11. Resultados de porcentaje de perlita de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 en la ZAT y en el metal base recocidas durante tres horas.	167
Tabla 4.12. Resultados de porcentaje de ferrita alotriomórfica y ferrita acicular de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 en el depósito de soldadura recocidas a una hora.	167
Tabla 4.13. Resultados de porcentaje de ferrita alotriomórfica y ferrita acicular de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 en el depósito de soldadura recocidas durante tres horas.	167
Tabla 4.14. Resultados de dureza de juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas durante una hora.	175
Tabla 4.15. Resultados de dureza de juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas durante tres horas.	175
Tabla 4.16. Resultados de ensayo de impacto de las juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas durante una hora.	179
Tabla 4.17. Resultados de ensayo de impacto de las juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas durante tres horas.	179
Tabla 6.1 Resultados registrados del Ensayo de Tracción.	192
Tabla 6.2 Parámetros calculados para determinar el módulo de elasticidad	195
Tabla 6.3 Determinación de la dureza para las juntas de acero AISI 1018 soldada con electrodo AWS E-7018 recocido a 600°C durante una hora.	200
Tabla 6.4 Resultados del ensayo de impacto para las juntas de acero AISI 1018 soldada con electrodo AWS E-7018 recocido a 600°C durante una hora.	200

Tabla 6.5. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 600°C durante 1 hora.	212
Tabla 6.6 Desglose del costo de la investigación.	231

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

Autor: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega

Tutor: Ing. Mg. Pablo Valle Velasco

Fecha: Octubre 15 de 2012

RESUMEN

El presente trabajo muestra la investigación realizada en juntas de Acero AISI 1018 soldadas con electrodo AWS E-7018, las que fueron sometidas a tratamiento térmico de recocido, con la finalidad de comparar las propiedades mecánicas de una junta sin tratamiento térmico posterior a la soldadura y las analizadas a tres temperaturas diferentes 600°C, 780°C, 870°C, y a dos tiempos distintos una y tres horas.

Se realizaron ensayos de tracción, dureza, impacto y análisis metalográfico en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato para determinar la variación de las propiedades mecánicas con las seis condiciones de recocido, posteriormente los registros fueron tabulados y analizados.

Se obtuvo conclusiones y recomendaciones en función de los resultados obtenidos, que contribuyen a generar procesos de recocido posterior a la soldadura que pueden ser aplicados en el campo industrial.

Finalmente se determinó el proceso que mejor combinación de propiedades mecánicas produjo, y se desarrollaron los procedimientos respectivos.

Palabras clave : Soldadura, electrodo, recocido, tratamiento térmico, propiedades mecánicas, tracción, dureza, análisis metalográfico, ductilidad, elongación.

AMBATO TECHNICAL UNIVERSITY
POSTGRADUATE STUDIES CENTER
MASTER'S DEGREE IN MECHANICAL DESIGN

Author: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega

Tutor: Ing. Mg. Pablo Valle Velasco

Date: October 15th, 2012

ABSTRACT

This work is related to the research carried out about AISI 1018 steel joints welded with the AWS E-7018 electrode, which were subjected to annealing heat treatment, in order to compare the mechanical properties of a joint without post welding heat treatment with others subjected to three different temperatures 600°C, 780°C, 870°C, at two different times, 1 and 3 hours.

In the labs of the Mechanical and Civil Engineering Faculty at Ambato Technical University, the tensile, hardness, and impact test as well as the metallographic analysis were performed to determine the variation of the mechanical properties with the six annealing conditions. Then the data were tabulated and analyzed

Based on the results, some conclusions and recommendations were made, which contributed to develop the post welding annealing processes that can be applied in the industrial field.

Finally, the process which produced the best combination of mechanical properties was determined, and some procedures were developed according to it.

Keywords: Welding, electrode, annealing, heat treatment, mechanical properties, traction, hardness, metallographic analysis, ductility, elongation.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.- TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ANÁLISIS RECOCIDO EN SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018 Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”.

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1.- CONTEXTUALIZACIÓN

En nuestro planeta, los metales como el acero están sometidos a diversas condiciones, procesos de fabricación y medios de unión que alteran sus propiedades, la humanidad se ha dedicado a su estudio desde la antigüedad para predecir y dominar sus efectos.

A nivel mundial el proceso de soldadura es uno de los procesos de fabricación mediante el cual se consigue unir el acero para formar o reparar elementos mecánicos.

En Australia, A. Paradowska, J.W.H. Price, P. Dayawansa, B. Kerezsi, X-L. Zhao and R. Ibrahim de la Universidad de Monash, realizaron mediciones de esfuerzos residuales en juntas soldadas tubulares con tratamiento térmico postsoldadura, mediante este trabajo pudieron concluir sobre algunos beneficios que causa el tratamiento térmico posterior a la soldadura, mejorando el desempeño de los elementos mecánicos procesados mediante soldadura.

En China, Y. C. Chen, H. J. Liu, J. C. Feng, analizaron el efecto del tratamiento térmico posterior a la soldadura en aleaciones de aluminio 2219-O, en el estudio logran determinar que se consigue incrementar la resistencia a la tracción de la soldadura y se disminuye el módulo de elasticidad en las juntas soldadas de la aleación de aluminio.

A nivel sudamericano, en Colombia, César Cerón, Jhon Rivas, Jhon Coronado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, en 2005, abordaron sobre la caracterización de las propiedades mecánicas y microestructurales de las soldaduras para la recuperación de ejes de molinos de caña mediante procesos de soldadura de arco sumergido y de fundente en el núcleo, no se utiliza tratamientos térmico posterior a la soldadura.

En nuestro país y ciudad el proceso de soldadura es ampliamente utilizado, se lo requiere para hacer juntas de acero ya sea en el campo de la construcción de máquinas y elementos mecánicos como para la reparación de los mismos. La reparación de un elemento roto implica en muchas ocasiones que haya que recuperarlo debido al costo relativamente alto que implica hacer uno nuevo, con la aplicación de soldadura se puede darle vida nuevamente a un elemento de acero colapsado, pero las propiedades mecánicas de la junta soldada no reúne las condiciones necesarias para el correcto desempeño del elemento.

En Ingeniería Mecánica se requiere conocer en detalle el comportamiento de las juntas soldada sometida a tratamiento térmico como el recocido para analizar las propiedades obtenibles en función de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico posterior a la soldadura para poder generar elementos mecánicos reparados por soldadura con mejores características mecánicas.

1.2.2.- ANÁLISIS CRÍTICO

En el sector industrial debido a sobreesfuerzos, inadecuado manejo de máquinas, o falta de control de operación, los elemento mecánicos de acero sufren daños y

en muchos de los casos colapsan provocándose la fractura del material, en varias ocasiones la reposición del elemento puede ser costosa, mediante el proceso de soldadura se puede recuperar las partes o piezas mecánicas a costo relativamente bajo, pero las características de un material soldado no son comparables con las de un material nuevo, es decir con estructura uniforme.

Mediante tratamientos térmicos post-soldadura como el recocido es posible contribuir a mejorar las características de la junta soldada, las personas dedicadas a las reparaciones de soldadura carecen de conocimientos de parámetros mediante los cuales se puede mejorar las propiedades de una junta soldada. No existen datos de temperatura y tiempo de recocido para un material y electrodo específico como por ejemplo uno de los materiales comúnmente usado en aplicaciones industriales el acero AISI 1018 soldado con electrodo AWS E7018.

Al variar la temperatura y tiempo de recocido se puede determinar los parámetros adecuados para obtener juntas soldadas con mejores propiedades mecánicas y como consecuencia mejor desempeño en máquinas y equipos del sector industrial.

Es necesario analizar la temperatura y tiempo de recocido en soldaduras de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 para analizar sus propiedades mecánicas y estructura metalográfica, lo cual permitirá determinar parámetros de recocido post-soldadura para mejorar las características de partes y piezas mecánicas fabricadas o reparadas por soldadura utilizadas en el sector industrial.

1.2.3.- PROGNOSIS

En el caso de que el presente proyecto de investigación no se realice, no se contará con datos exactos de los parámetros de recocido en soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018, lo que indica que se seguirán haciendo soldaduras con características mecánicas pobres generando elementos mecánicos fabricados o reparados por este método bastante susceptibles al colapso lo que

implicaría paradas de funcionamiento de máquinas y equipos generando pérdidas al campo industrial.

1.2.4.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué mejora en las propiedades mecánicas se puede obtener al realizar el análisis de recocido en soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018?

1.2.5.- PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Cuáles serán los parámetros que intervienen en el tratamiento térmico de recocido?
- ¿Cómo se determinará las propiedades de tracción, dureza y metalográficas de una junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo E-7018?
- ¿Cómo variará la resistencia a la tracción de una junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 al realizarle tratamiento térmico de recocido?
- ¿Cuál será la variación de dureza de una junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 al realizar el tratamiento térmico de recocido?
- ¿Cómo se modificará la estructura metalográfica de una junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 por efecto del recocido?

1.2.6.- DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1.- DELIMITACIÓN DE CONTENIDOS

Las asignaturas involucradas son las siguientes:

- Ingeniería de Materiales

- Tratamientos Térmicos
- Procesos de Fabricación
- Metalografía

1.2.6.2.- DELIMITACIÓN ESPACIAL

La investigación tiene estudios bibliográficos y experimentales, los que se desarrollarán en la biblioteca, taller de soldadura y laboratorio de metalografía de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi, cantón Ambato, provincia del Tungurahua.

1.2.6.3.- DELIMITACIÓN TEMPORAL

El presente trabajo investigativo se desarrollará en un período comprendido entre los meses, de febrero a septiembre del 2012.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

El análisis de recocido en soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 resulta importante debido a que se necesita conocer cómo influyen los parámetros de recocido en las características de una junta soldada pretendiendo conseguir mejores propiedades mecánicas y poder generar elementos reparados con este método con mejor desempeño.

Existe mucho interés en conocer los parámetros adecuados de recocido para tratar una junta soldada debido a que en el campo industrial permanentemente se está reparando elementos mecánicos, si se logra mejorar las características de una junta soldada los elementos reparados podrán responder de mejor manera incrementando la satisfacción del sector industrial.

El tratamiento de recocido aplicado a materiales ha sido abordado pero analizado a juntas de soldadura con un electrodo específico y para un material específico no

existe datos en detalle por lo tanto el presente trabajo permitirá obtener datos adecuados para el recocido de una junta soldada de acero AISI 1018 que en el campo industrial se lo utiliza para elaborar elementos mecánicos como ejes, usando como material de aporte electrodo AWS E-7018.

El estudio resulta factible, bibliográficamente se encuentra literatura de comportamiento y propiedades mecánicas de materiales así como de tratamientos térmicos como el recocido, tecnológicamente es viable ya que apunta a un proceso de fabricación como es la soldadura, específicamente de electrodo revestido, equipos con los cuales cuenta la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica así como también laboratorios para los ensayos. La iniciativa de realizar el presente estudio es con la finalidad de aportar con parámetros de recocido de juntas soldadas para mejorar sus propiedades aportando de esta manera con el sector industrial de nuestra provincia y contribuyendo para el engrandecimiento de la Universidad Técnica de Ambato.

1.4.- OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1.- GENERAL

Analizar el recocido en soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 para determinar las propiedades mecánicas

1.4.2.- ESPECÍFICOS

- Revisar los parámetros que intervienen en el tratamiento térmico de recocido.
- Determinar las propiedades de tracción, dureza y estructuras metalográficas de una junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo E-7018.
- Evaluar la variación de resistencia a la tracción de una junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 al realizarle tratamiento térmico de recocido

- Establecer la variación de la dureza de una junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 al realizarle tratamiento térmico de recocido
- Analizar la variación de la estructura metalográfica de una junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 al realizarle tratamiento térmico de recocido

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1.1.- ANTECEDENTES

Revisada información que se relacione con el tema se pudo encontrar algunos trabajos realizados con la siguiente descripción:

Fuente: Tesis
Autores: Ayala Ochoa Daniel Alejandro
Mosquera Recalde Galo Eduardo
Año de Publicación: 2011
Lugar: Quito, Escuela Politécnica Nacional.
Tema: Análisis de la zona afectada por el calor en aceros hipereutectoides
Repositorio Digital EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3744>

Fuente: Tesis
Autor: Medrano Carvajal Jorge Rodrigo
Año de Publicación: 2006
Lugar: Quito, Escuela Politécnica Nacional.
Tema: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de las juntas soldadas de aceros inoxidable austeníticos mediante tratamientos térmicos.
Repositorio Digital EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/439>

Fuente: Tesis
Autores: Guachamín Guamán Angel Fabián
Vargas Vargas Hermel Vicente
Año de Publicación: 2011

Lugar: Quito, Escuela Politécnica Nacional.

Tema: Determinación del efecto de la temperatura de enfriamiento en las propiedades mecánicas de los acero de medio carbono (AISI 1045 y AISI 1070) durante el tratamiento térmico.

Repositorio Digital EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4365>

Fuente: Tesis

Autores: Ayala Ochoa Daniel Alejandro
Mosquera Recalde Galo Eduardo

Año de Publicación: 2011

Lugar: Quito, Escuela Politécnica Nacional.

Tema: Análisis de la zona afectada por el calor en aceros hipereutectoides

Repositorio Digital EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3744>

Fuente: Tesis

Autores: Meléndez Villegas Alexandra Belén
QuelalQuelal Victoria de Rocío

Año de Publicación: 2009

Lugar: Sangolquí, ESPE Facultad de Ingeniería Mecánica.

Tema: Análisis y resultados del comportamiento de los esfuerzos residuales y las deformaciones en juntas soldadas a tope de acero A36, aplicando el método SMAW con electrodos E6011

Repositorio Digital ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/301>

2.1.2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.2.1.- El Acero

“Las aleaciones de hierro y carbono, aceros y fundiciones, son las aleaciones metálicas más importantes de la civilización actual. Por su volumen, la producción de fundición y de acero supera en más de diez veces la producción de todos los demás metales juntos. Corrientemente se da el nombre de acero y fundición, a las

aleaciones hierro-carbono (si tienen más del 2% de C son fundiciones y si tienen menos del 2% de C son aceros). “(Jimenez, 2009).

Se denominan acero a las aleaciones de hierro-carbono que pueden ser deformadas en frío y en caliente, en las cuales el porcentaje de carbono no excede de 1,76%, aunque en varios casos especiales se puede superar dicho límite, como sucede en algunos aceros con un elevado contenido de carbono.¹

Según su composición, los aceros pueden ser:

Aceros al carbono.- En su composición se encuentra principalmente hierro y carbono, pueden contener otros elementos en bajos contenidos, como manganeso silicio, fósforo, aluminio.

Aceros Aleados.- A más del Carbono contienen elementos que en cantidades suficientes pueden alterar sus propiedades, pudiendo ser de baja y alta aleación.

Entre los elementos que pueden beneficiar al acero tenemos: el aluminio, azufre, boro, circonio, cobalto, manganeso, molibdeno, niobio, níquel, nitrógeno, selenio, titanio, vanadio y wolframio.¹

Se pueden diferenciar tres grupos de aceros al carbono:

- Eutectoides, cuyo contenido de carbono está cerca al 0.8% de C, y su estructura está constituida únicamente por perlita,²
- Hipoeutectoides, que contienen menos del 0.8% de C, con estructura formada por ferrita y perlita

¹GIL, Juan. Manual de Mecánica Industrial Tomo 1.

²JIMENEZ, José. (2009). Resumen del curso de tecnología de los materiales II. Editorial El Cid Editor. (Biblioteca virtual UTA. Ebrary).

- Hipereutectoides, que contienen del 0.8% al 2% de C y cuya estructura consta de perlita y cementita.

2.1.2.2.- Microestructura de los Aceros

Se pueden encontrar los siguientes constituyentes en los aceros al carbono: ferrita, cementita, perlita, martensita, bainita y muy pocas veces austenita.

El análisis de las microestructuras de los aceros al carbono recocidos y fundiciones blancas deben realizarse en base al diagrama Hierro-Carbono

Diagrama Fe-C

La siguiente figura muestra parte del diagrama Hierro- Carbono o Hierro-Carburo de Hierro

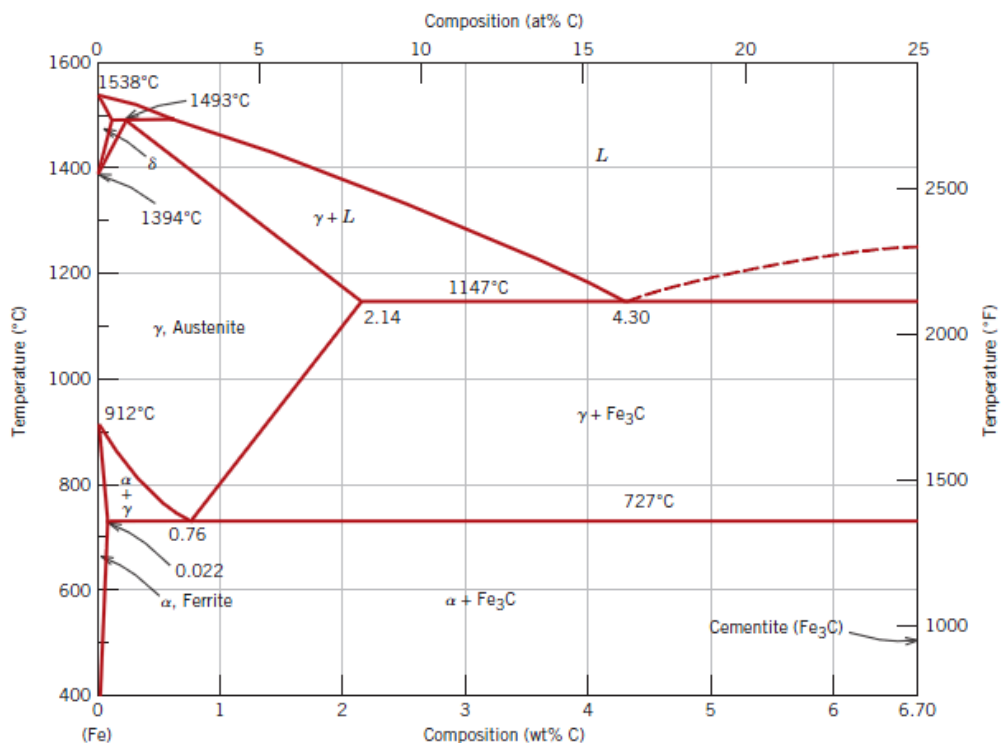


Figura 2.1 Diagrama de Fases Hierro – Carburo de Hierro. [Adaptado de Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. ASM International, Materials Park, OH.]

Fuente: W. Callister

Las microestructuras que presenta el diagrama de equilibrio para los aceros al carbono son:

Ferrita (Hierro α)

Es la forma estable del hierro a temperatura ambiente, tiene estructura BCC. Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0.02% a 723 °C³

“La ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cubica centrada en el cuerpo tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de 28 kg/mm², llegando hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros.” (Jimenez , 2009).

Cementita (Fe₃C)

Se denomina también carburo de hierro contiene 6.67 %C y 93.33% de hierro Es el carburo de hierro de formula Fe₃C, contiene 6.67 %C y 93.33% de hierro, es le microconstituyente mas duro y frágil de los aceros al carbono, alcanzando una dureza Brinell de 700(68 RC) y cristaliza en la red ortorómbica.³

Perlita

Es el microconstituyente eutectoide (α + Fe₃C) formado por capas alternadas de ferrita y cementita contiene el 0.76% C. Tiene una dureza de 250 Brinell, resistencia la tracción de 80 kg/mm² y un alargamiento del 15%.³

³JIMENEZ, José. (2009). Resumen del curso de tecnología de los materiales II. Editorial El Cid Editor. (Biblioteca virtual UTA. Ebrary).

Austenita (γ)

Es una solución sólida de carbono en hierro, es el constituyente más denso del acero. La cantidad de carbono disuelto varía de 0.8 al 2% C que es la máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita no es estable a la temperatura ambiente pero existen algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos cuya estructura es austenita a temperatura ambiente. Su dureza es de 300 Brinell, resistencia a la tracción de 100 kg/mm² y un alargamiento del 30% no es magnética.⁴

Martensita

“Es el constituyente de los aceros templados está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carburo de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas. El contenido de carbono suele variar desde muy poco de carbono hasta el 1% de carbono, sus propiedades físicas varían con su contenido de carbono hasta un máximo de 0.7%C.”(Jimenez, 2009).

Bainita

Se forma por la transformación isotérmica de la austenita entre las temperaturas de 250 y 550 °C, la finalidad de éste temple isotérmico es formar bainita a partir de la austenita y no como en el temple clásico en el que se forma martensita.

2.1.2.3.- Designación AISI/ SAE del Acero

La designación **AISI/SAE** (también conocida por SAE-AISI) es una clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos. AISI es el acrónimo en inglés

⁴JIMENEZ, José. (2009). Resumen del curso de tecnología de los materiales II. Editorial El Cid Editor. (Biblioteca virtual UTA. Ebrary).

de American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y el Acero), mientras que SAE es el acrónimo en inglés de Society of Automotive Engineers (Sociedad Norteamericana de Ingenieros Automotores).

La designación AISI para los aceros al carbono y de baja aleación está compuesta por cuatro o cinco dígitos. El primer dígito indica el tipo de acero:

1XXX: Acero al carbono.

2XXX: Acero al níquel (Acero de baja aleación que tiene níquel como aleante).

3XXX: Acero al níquel-cromo.

4XXX: Acero al cromo-molibdeno.

5XXX: Acero al cromo.

6XXX: Acero al cromo-vanadio.

7XXX: Acero al tungsteno-cromo.

8XXX: Acero al níquel-cromo molibdeno.

9XXX: Acero al silicio.

El segundo dígito identifica el contenido promedio del principal elemento aleante, es decir, el elemento en mayor proporción. Los dos o tres últimos dígitos identifica el contenido de carbono multiplicado por cien. Por consiguiente:

- 1) AISI 1018 es un acero al carbono que tiene 0,18% en peso de carbono.
- 2) AISI 4140 es un acero aleado con cromo y molibdeno que tiene 1% en peso de cromo y 0,4% en peso de carbono.

2.1.2.4.- Tratamientos Térmicos

Con la variación de la forma de calentamiento y enfriamiento de los aceros al carbono se pueden obtener diferentes combinaciones de propiedades mecánicas en los aceros.

“En el sentido más amplio, el procesamiento térmico es el calentamiento y enfriamiento que se hace con el propósito de lograr las propiedades mecánicas y el rendimiento deseados de un material mediante la modificación de su microestructura o de su patrón de esfuerzos residuales. Los procesos térmicos se clasifican en endurecedores y no endurecedores, de conformidad con el hecho de si endurecen o no el material. En la industria, el proceso térmico que provoca el endurecimiento o endurecimiento de un material se conoce comúnmente como tratamiento con calor o tratamiento térmico. Por tanto, cuando se afirma que un material se trata térmico, lo que habitualmente se quiere decir es que el material se hace más resistente cuando se calienta y se enfría. ” (Mangonon, 2001).

Los tratamientos térmicos son procesos en los cuales un acero, en estado sólido experimenta uno o múltiples ciclos de calentamiento y enfriamiento para variar sus propiedades mecánicas dependiendo de la aplicación que se le dé al material.

Tipos de Tratamientos Térmicos

Entre los tipos de tratamientos térmicos tenemos:

- a).- Recocido
- b).- Normalizado
- c).- Temple
- d).- Revenido
- e).- Austempering

2.1.2.4.1- Recocido

El recocido se refiere al tratamiento por el cual ocurren cambios en la estructura y las propiedades de un material luego que ha sido calentado y mantenido a una temperatura apropiada, y después enfriado a un ritmo razonablemente lento.⁵

⁵MANGONON, Pat. (2001). Ciencia de Materiales Selección y Diseño. Primera Edición. México.

“El término **recocido** se refiere al tratamiento térmico de un material expuesto a elevada temperatura durante un período de tiempo y, luego, enfriado lentamente.” (Callister, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales).

El recocido se utiliza para:

- 1.- Eliminar tensiones
- 2.- Incrementar la plasticidad, la ductilidad y la tenacidad y/o
- 3.- Producir una microestructura específica.

Existen varios tratamientos térmicos de recocido caracterizados por los cambios producidos. Muchas veces se trata de cambios microestructurales, responsables de la modificación de las propiedades mecánicas.

El recocido consta de tres etapas

- 1.- Calentamiento a la temperatura prevista.
- 2.- Mantenimiento o "impregnación térmica" a esta temperatura y
- 3.- Enfriamiento, generalmente hasta temperatura ambiente.

Un parámetro importante en el recocido es el tiempo. El proceso de calentamiento y enfriamiento se producen gradientes de temperatura entre el interior y la superficie de la pieza, lo que depende del tamaño y geometría de la pieza. Si la velocidad de cambio de temperatura es grande, se genera un gradiente de temperatura que induce tensiones internas que pueden conducir a deformaciones e incluso al agrietamiento.⁶

El tiempo de recocido debe ser suficientemente largo para permitir la necesaria reacción de transformación. La temperatura de recocido también es importante; el recocido se acelera al aumentar la temperatura, ya que representa un proceso de difusión.

⁶CALLISTER, William. Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, Editorial REVERTE

La oxidación superficial se puede prevenir minimizando la temperatura de recocido (siempre superior a la temperatura de recristalización) u operando en atmósfera no oxidante.

Etapas del recocido

El recocido consta de tres etapas:

- i.- Recuperación
- ii.- Recristalización y;
- iii.- Crecimiento Granular

Recuperación.- “La microestructura original trabajada en frío está compuesta por granos deformados con gran número de dislocaciones entrelazadas. Cuando al principio se calienta el metal, la energía térmica adicional permite que las dislocaciones se muevan y formen los bordes de una **estructura subgranular poligonizada** (figura 2.2). Sin embargo, la densidad de las dislocaciones se mantiene virtualmente sin modificación. Este tratamiento a baja temperatura se llama **recuperación**”.(Askeland.D.)

La recuperación a menudo mejora la resistencia del material a la corrosión.

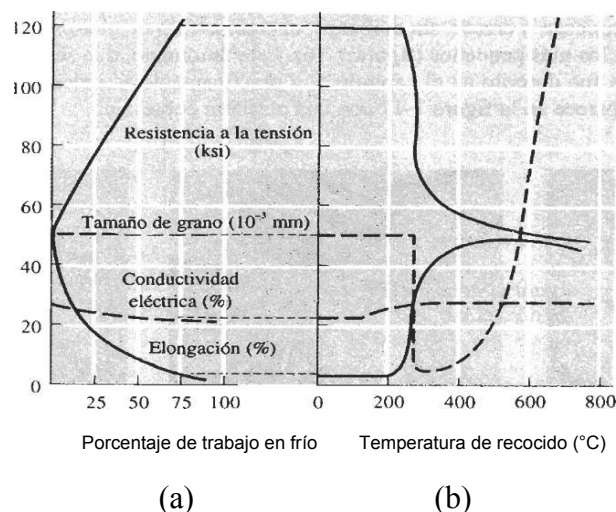


Figura 2.2(a) Efecto del trabajo en frío sobre las propiedades de una aleación de Cu- 35% Zn. **(b)** Efecto de la temperatura de recocido sobre las propiedades de Cu-35% Zn trabajado en frío al 75%.

Fuente: D. Askeland

Recristalización.- “Ocurre debido a la nucleación y crecimiento de nuevos granos que contienen pocas dislocaciones. Cuando se calienta el metal por encima de la temperatura de recristalización, una rápida recuperación elimina los esfuerzos residuales, produciendo una estructura de dislocación polygonizada. En este momento ocurre la nucleación de granos pequeños en los bordes de celda de la estructura polygonizada, eliminando la mayoría de las dislocaciones (figura 2.3). Dado que se ha reducido de manera importante el número de dislocaciones, el metal recristalizado tiene baja resistencia, pero una elevada ductilidad.”(Askeland.D.)

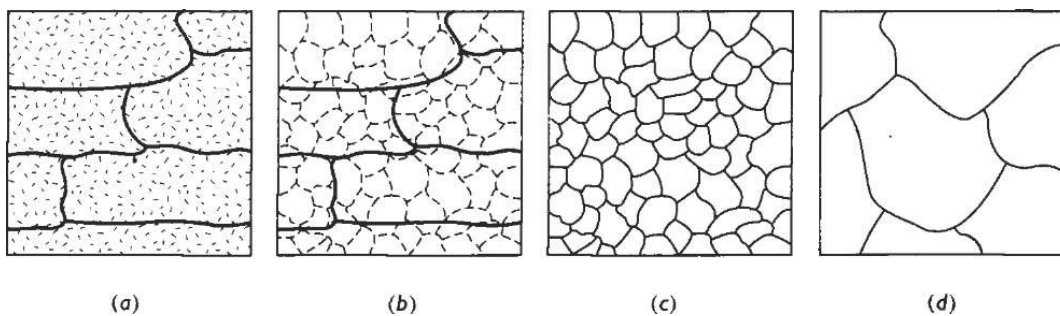


Figura 2.3 Efecto de la temperatura de recocido sobre la microestructura de metales trabajados en frío: (a) trabajado en frío, (b) después de la recuperación, (c) después de la recristalización y (d) después del crecimiento de grano.

Fuente: D. Askeland

Crecimiento granular.- La recuperación como la recristalización se producen con mayor rapidez si se eleva la temperatura, lo que produce una estructura granular recristalizada fina.

Los granos empiezan a crecer, sin embargo, el crecimiento de ciertos granos es favorecido, eliminando a los más pequeños.

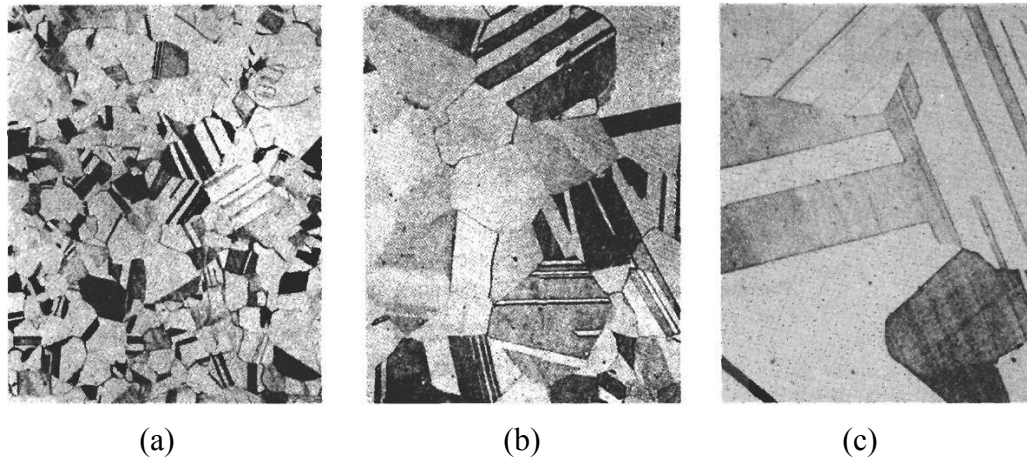


Figura 2.4 Microfotografías que muestran el efecto de la temperatura de recocido sobre el tamaño de grano en el latón. También se pueden observar bandas de deslizamiento en estas estructuras, (a) Recocido a 400°C, (b) recocido a 650°C y (c) recocido a 800°C (x 75).

Fuente: De R. Brick y A. Phillips, *The Structure and Properties of Alloys*, McGraw-Hill, 1949.

Recocido de Aleaciones Férricas

Existen diferentes procesos de recocido para modificar las propiedades de los aceros.

Es necesario comentar sobre los límites de fase. La figura 2.5 muestra la parte del diagrama hierro-carburo de hierro en la cercanía del punto del eutectoide. La línea horizontal a la temperatura eutectoide, designada A_1 , se denomina **temperatura crítica inferior** y significa que, por debajo de la misma y en condiciones de equilibrio, la austenita se convierte en ferrita y cementita. Los límites de fases A_3 y A_{cm} representan las líneas de **temperatura crítica superior** para los aceros hipo e hipereutectoides, respectivamente. A temperaturas y composiciones por encima de estos límites prevalece la fase austenita.⁷

⁷WILLIAN D. CALLISTER, *Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales*, Editorial REVERTE

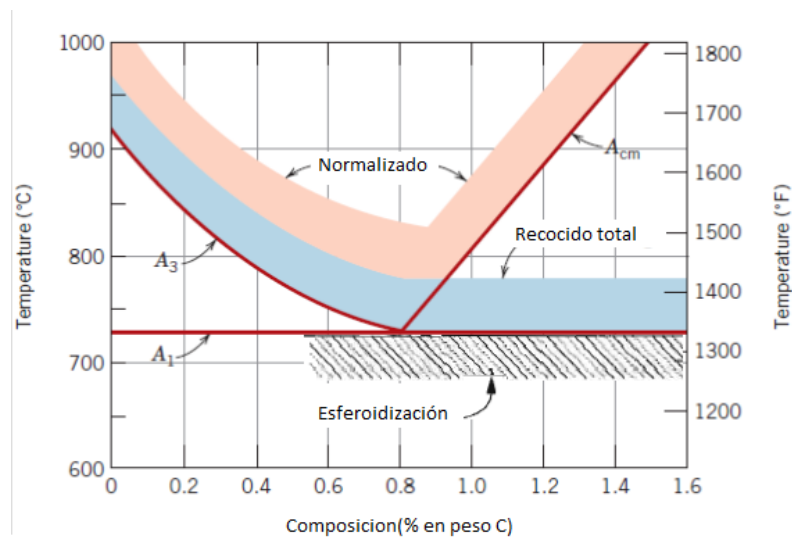


Figura 2.5 Región del diagrama de fases hierro- carburo de hierro próximo al eutectoide se indica el tramo de temperaturas de tratamiento térmico del acero al carbono

Fuente: Adaptado de metalshandbook, T. Lyman, editor, American Society for metals, 1948, p.661

Tipos de Recocidos

Eliminación de Tensiones

Se generan tensiones térmicas en una pieza metálica como respuesta a:

- 1.- Los procesos de deformación plástica, como son el mecanizado y estampación;
- 2.- Piezas conformadas a alta temperatura como soldadura o moldeo que tienen enfriamiento no uniforme y,
- 3.- Transformación de fase debido al enfriamiento en la que la fase original y la fase resultante presentan distintas densidades.

El resultado de no eliminar las tensiones son las distorsiones en el material. La eliminación se produce por un tratamiento térmico de recocido de **eliminación de tensiones**, mediante el proceso el elemento metálico se calienta hasta la

temperatura recomendada, se mantiene hasta alcanzar una temperatura uniforme y, finalmente, se enfría al aire hasta temperatura ambiente. La temperatura de recocido es relativamente baja para prevenir los efectos de la deformación por enfriamiento y para no afectar a otros tratamientos térmicos.⁸

“El recocido en proceso, al que frecuentemente se hace referencia como una relajación de tensiones, ablanda parcialmente los aceros de bajo carbono al relajar las tensiones internas resultantes de los procesos de trabajo en frío. Este tratamiento, aplicado habitualmente a los aceros hipoeutectoides con menos del 0.3% de carbono, se lleva a cabo a temperaturas por debajo de la temperatura eutectoide, usualmente entre 550 y 650 °C.(Smith, 1998)

Recocido Total

En el recocido total, los aceros hipo y eutectoides se calientan en la región de la austenita, alrededor de 40 °C por encima del límite austenita-ferrita, manteniéndolos durante el tiempo necesario a elevada temperatura y enfriándolos después lentamente hasta temperatura ambiente: habitualmente en el horno en que fueron calentados.⁹

Para los aceros hipereutectoides se suele realizar la austenización en la región bifásica austenita más cementita (Fe_3C), alrededor de 40 °C por encima de la temperatura eutectoide. (Smith, 1998)

“El tratamiento térmico denominado **recocido total** se suele aplicar a los aceros bajos y medios en carbono que se han mecanizado o han experimentado gran deformación plástica durante el hechurado en frío. La aleación se austeniza calentando de 15 a 40°C por encima de las líneas A_3 o A_1 Indicadas en la Figura

⁸CALLISTER, William. Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, Editorial REVERTE

⁹SMITH William. (1998) Fundamentos de la Ciencia E Ingeniería de Materiales. Tercera edición. Editorial LAVEL, S.A.

2.5, hasta conseguir el equilibrio”.(Callister, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales).

Posteriormente se deja enfriar dentro del horno de tal manera que el acero y el horno lleguen a temperatura ambiente la misma velocidad, para lo cual es necesario varias horas.

La microestructura resultante de este recocido es perlita gruesa (además de alguna fase proeutectoide) que es relativamente blanda y dúctil.

Esferoidización o Globulización

Los aceros medios y altos en carbono tienen una microestructura consistente en perlita gruesa que puede llegar a ser demasiado dura para la deformación plástica y para el mecanizado.

Estos aceros, y también los otros, se pueden recocer para desarrollar la microestructura de esferoiditas. El acero esferoidizado o globulizado tiene la máxima blandura y ductilidad y es fácilmente mecanizable o deformable. El tratamiento térmico de **esferoidización** consiste en calentar la aleación a temperatura justo por debajo del eutectoide (a 700°C) en la región $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ del diagrama de fases. Si la fase madre es perlita, el tiempo de esferoidización suele durar de 15 a 25 h. Durante este recocido el Fe_3C coalesce para formar partículas de esferoidita.¹⁰

2.1.2.4.2- Normalizado

Este tratamiento térmico consiste en calentar el acero en la región austenítica y luego se enfría en aire estático.

¹⁰CALLISTER, William. Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, Editorial REVERTE

Por medio del normalizado se consigue en el acero una mayor dureza y resistencia que con el recocido, se afina el tamaño de grano, se homogeniza la estructura y se mejora la maquinabilidad, particularmente en los aceros de bajo contenido de carbono.

“ El normalizado se realiza calentando 55 a 85°C por encima de la temperatura crítica superior, que, naturalmente, depende de la composición, como indica la Figura 2.6 Después del tiempo suficiente para conseguir la completa transformación a austenita (procedimiento denominado **austenización**) el tratamiento termina enfriando al aire. En el diagrama de transformación por enfriamiento continuo de la Figura 2.1 se ha trazado una gráfica de normalizado.”(Callister, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales).

En la figura 2.6 se muestra un esquema de los ciclos de calentamiento y enfriamiento que intervienen en los de recocido y normalizado.

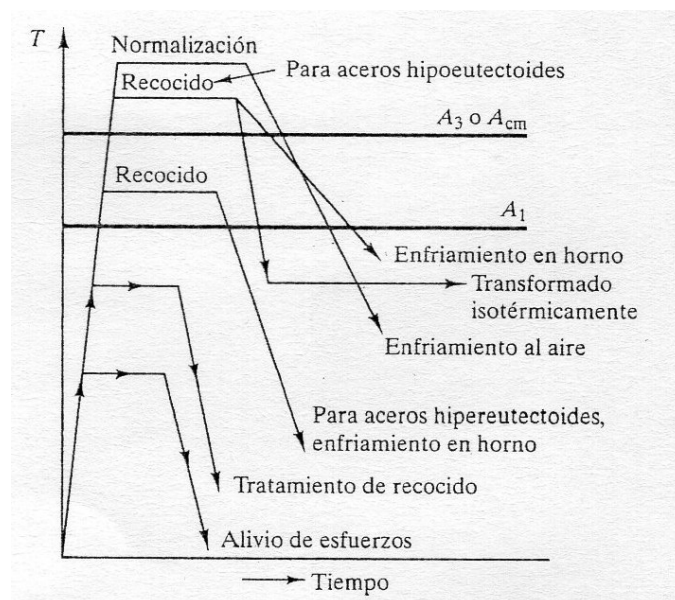


Figura2.6 Ciclos de calentamiento y enfriamiento para tratamientos térmicos no endurecedores de alivio de esfuerzos, recocido por tratamiento, normalización y recocido de aceros hipo e hipereutectoides.

Fuente: P. Manganón. 1999

2.1.2.5.- Soldadura

“La sociedad americana de soldadura AWS la 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 material de aporte para producir una unión localizada a través de 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 doubusunum”, que significa de dos hacer uno” (M. Pástor)

Hace aproximadamente 2500 años, un herrero griego de nombre Glaukos, que vivía en la ciudad de Khios, inventó la forma de soldar el hierro (figura 2.7). Con el procedimiento de este herrero, se calentaban las piezas de hierro en un horno o forja hasta que se ablandaba el metal. Valiéndose del martilleo, se les fusionaba hasta convertirlas en una unidad. Hasta los años 80 no hubo cambios en la soldadura por forja, cuando nuevos procedimientos de soldadura aparecieron. La soldadura de arco fue la primera en desarrollarse seguida rápidamente de la soldadura oxiacetilénica, esos procesos se utilizaron para reparar piezas desgastadas o dañadas.¹¹



Figura2.7 La operación de soldadura debe haberse visto en forma similar a esta ilustración durante el siglo XVII.

Fuente:H.Horwitz. 2002

¹¹HORWITZ, Henry. (2002). Soldadura: Aplicaciones y Práctica. Primera Edición. Alfaomega Grupo Editor.

La soldadura moderna de los metales, al igual que la soldadura antigua por forjado, logra la unión de los metales por fusión. Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología de la soldadura y el mejoramiento de los métodos de prueba, se observó que podía lograrse una fusión completa y permanente entre dos o más metales, y que el área soldada tenía mayor resistencia que cualquiera de las piezas que se habían unido. Utilizando las técnicas y los materiales correctos, casi cualesquiera dos piezas de metal pueden fundirse para formar una sola unidad.

La American Welding Society (AWS) es una de las organizaciones que se ha preocupado por establecer normas específicas para soldadura las mismas que han sido ampliamente aceptadas a nivel mundial. Los métodos de soldadura que se utilizan actualmente son muchos y muy variados; cada uno de estos métodos ha sido caracterizado y designado por la AWS de la siguiente forma: ¹²

Tabla 2. 1. Métodos de soldadura.

SMAW	Shielded Metal Arc Welding; Soldadura Arco Metálico con electrodo Revestido.
SAW	Sumerged Arc Welding; Soldadura de Arco Sumergido.
ST:	Spray Transfer; Pulverización de Metal.
GMAW	Gas Metal Arc Welding, Soldadura de Arco Metálico Protegido con Gas
FCAW	Flux Cored Arc Welding; Soldadura de Arco Fundente en el Núcleo.
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding; Soldadura con Electrodo de Tungsteno Protegida con Gas.
PAW	Plasma Arc Welding; Soldadura por Arco de Plasma.
ESW	Electro Slag Welding; Soldadura por Electro-Escoria.
EGW	Electro Gas Welding; Soldadura de Arco Eléctrico Protegido con Gas.
RW	Resistence Welding; Soldadura por Resistencia.
OFW	Oxifuel Welding; Soldadura de Combustible con Oxígeno.

¹²PASTOR, Mario. Introducción a la metalurgia de la soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

DFW	Diffusion Welding; Soldadura por Difusión.
FRW	Friction Welding; Soldadura por Fricción.
EBW	Electrón-Beam Welding; Soldadura por Haz de Electrones.
LBW	Laser Beam Welding; Soldadura por Láser.
B	Brazing; Soldadura Fuerte, Oxi-gas con Varilla de Bronce.
S	Soldering; Soldadura Blanda, Aleación Plomo Estaño

En la actualidad existen muchos métodos de soldadura como los que se puede observar en la figura 2.8

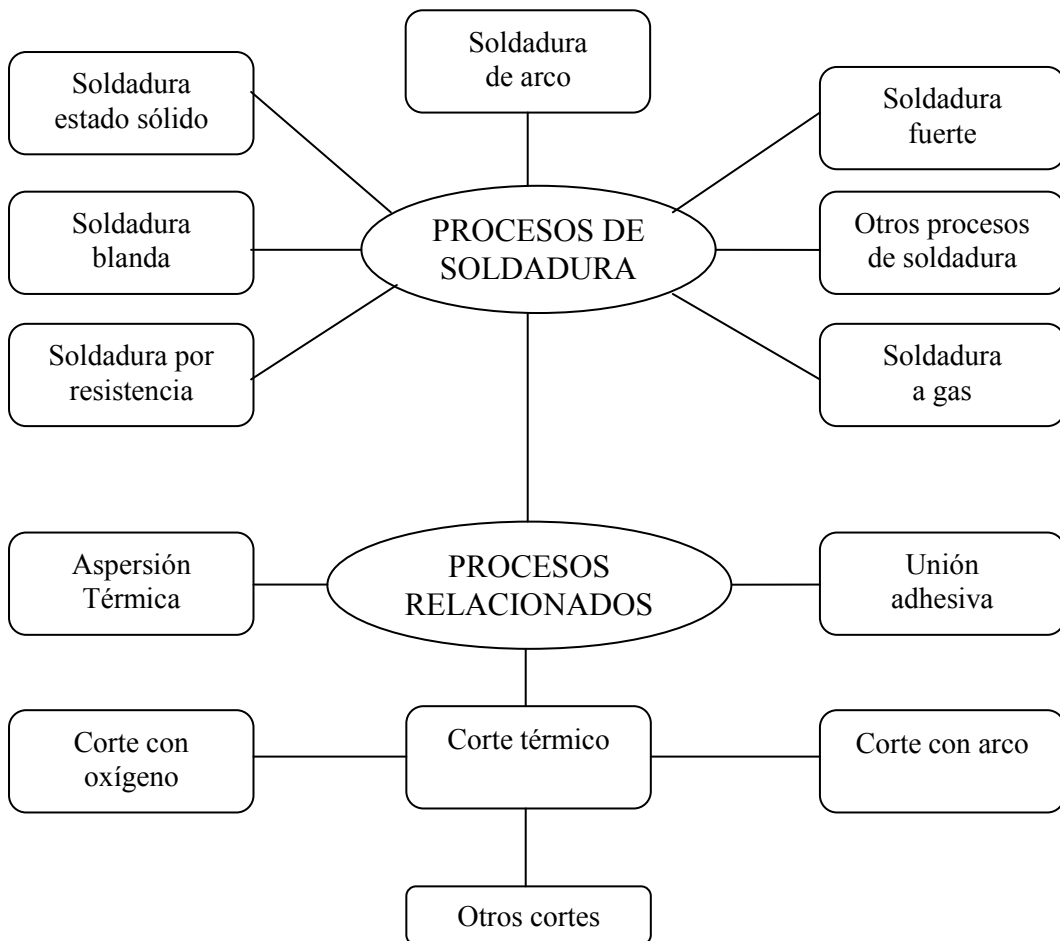


Figura2.8 Clasificación AWS de los procesos de soldadura y otros procesos relacionados
Fuente: M. Pástor

2.1.2.5.1.- SOLDADURA SMAW (Soldadura de Arco Metálico con electrodo Revestido).

(AWS) Lo denomina soldadura de arco metálico con electrodo revestido (shielded metal arcwelding, o SMAW). Se llama también soldadura de arco, soldadura con varilla y soldadura con electrodo.

Los equipos para soldadura de arco metálico con electrodo revestido

Constan de las siguientes partes:

- Fuente de poder.
- Cable, porta electrodo y conectores
- Mordaza para tierra, cables y conectores
- Electrodo.

Los equipos adicionales que se utilizan en una estación de soldadura de arco metálico con electrodo revestido son:

- Cabina de soldar o biombos protectores
- Soportes sujetadores y posicionadores
- Banquillo
- Sistema de ventilación
- Banco de trabajo

“Es un método de soldadura manual. Se establece un circuito eléctrico entre la fuente de poder, el electrodo, el arco de soldar, la pieza de trabajo y de regreso a la fuente de poder. Los electrones que fluyen a través del espacio entre los electrodos y la pieza de trabajo producen un arco que genera el calor necesario para fundir tanto al propio electrodo como al metal base.

La temperatura del arco puede sobrepasar los 6000°F (3300°C).El arco calienta tanto al electrodo como a la pieza de trabajo. En la punta del electrodo se forma glóbulos de metal derretido, los cuales caen y se mezclan con el charco de metal fundido que se forma en la pieza de trabajo cuando se retira el electrodo del charco, la mezcla de metales se solidifican y con esto se completa la soldadura.”(GALVERY, William y MARLOW, Frank.)

Cuando la soldadura se realiza en posición horizontal o plana, la transferencia de metal desde el electrodo se realiza por gravedad, por expansión de los gases que generan los materiales de recubrimiento del electrodo. En otras posiciones, la gravedad se opone a estas fuerzas. El electrodo está recubierto con un fundente. El calor generado por la corriente eléctrica provoca la combustión y la descomposición de este fundente, lo que genera una nube de gas que protege de la contaminación atmosférica la punta del electrodo, la pieza de trabajo y el charco de metal fundido.

El fundente también contiene materiales que recubren las gotas de acero fundido que transfieren metal de aporte y se convierte en escoria cuando se enfría. Esta escoria también flota sobre la superficie del baño de soldadura y después se solidifica sobre el cordón de soldadura, donde protege el metal fundido y disminuye la velocidad del enfriamiento. El recubrimiento de fundente de algunos electrodos consumibles con tiene polvo metálico que, al quemarse, genera calor adicional así como metal de aporte adicional para incrementar la tasa de posición. El fundente y el metal de aporte del electrodo determinan las propiedades químicas, eléctricas, mecánicas y metalúrgicas de la soldadura, así como las características del porta electrodo. Solo el 50% de la energía calorífica suministrada por la fuente de poder calienta la soldadura; el resto se pierde por radiación alrededor del metal base.¹³

¹³ GALVERY, William y MARLOW, Frank. Guia de Soldadura para técnicos profesionales.

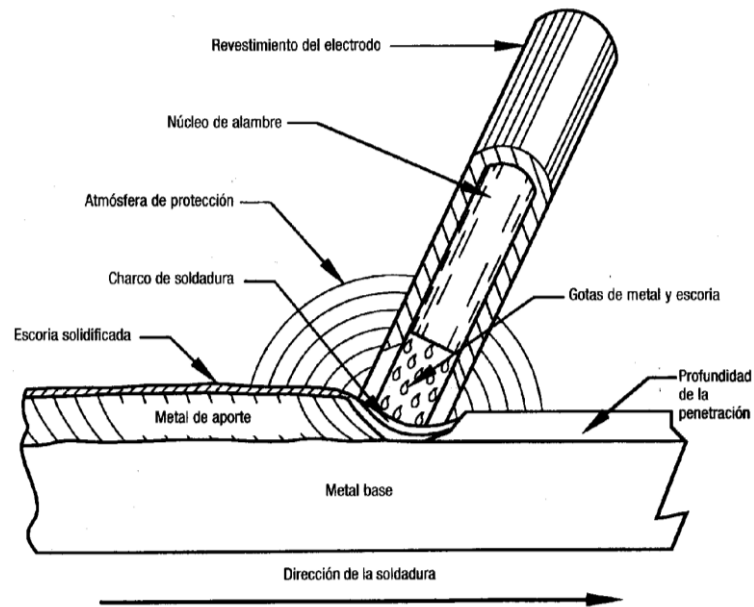


Figura 2.9 Proceso de Soldadura de Arco Metálico con electrodo revestido
Fuente: W. Galvry y F. Marlow

Tabla 2. 2. Especificaciones ANSI/AWS para los electrodos revestidos.

Aplicación	Especificación ANSI/AWS
Acero al carbono	A5.1
Acero de baja aleación	A5.5
Acero resistente a la corrosión	A5.4
Hierro colado	A5.15
Aluminio y sus aleaciones	A5.3
Cobre y sus aleaciones	A5.6
Níquel y sus aleaciones	A5.11
Recubrimiento de superficies	A5.13 & A5.21

Electrodos de soldadura SMAW para aceros al carbono

Los electrodos de soldadura SMAW para aceros al carbono están normados por AWS 5.1 (Specification for covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes).

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

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

El Revestimiento, que se aplica en torno del núcleo metálico, es un compuesto de composición química definida para cada tipo de electrodo.

Funciones del revestimiento

Cumple funciones indispensables y decisivas en la ejecución y calidad de la soldadura. Estas funciones podemos clasificarlas en:

A) Funciones eléctricas

- Permitir el empleo de la corriente alterna. Como es sabido, la corriente alterna cambia de polaridad, creando en consecuencia una gran inestabilidad en el arco. Este problema ha sido solucionado, agregando al revestimiento algunos elementos químicos que, al quemarse en el arco, producen gases especiales ionizados que mantienen la continuidad del arco. Cualquier electrodo para corriente alterna puede ser empleado también con corriente continua, pero no todos los electrodos fabricados para corriente continua pueden ser utilizadas con alterna.
- Facilitar el encendido del arco y mantenerlo con facilidad durante la ejecución de la soldadura.

B) Funciones metalúrgicas

- Proteger el metal fundido de los gases dañinos del aire. Algunos elementos del revestimiento forman, al quemarse, una capa de gases que rodea al arco, protegiendo a las finísimas gotas de metal que son proyectadas por el arco contra el contacto con el aire, así como al metal fundido del charco de fusión. El aire contiene oxígeno y nitrógeno en grandes cantidades, las que al combinarse con el metal fundido forman óxidos y nitruros debilitándolo, haciéndolo poroso, frágil y menos resistente a la tracción y al impacto.
- Formar la escoria protectora del metal caliente. Ciertas materias del revestimiento se funden y se mezclan con el metal de soldadura y van recogiendo las impurezas del metal, haciéndolas flotar en la superficie del metal fundido. Así se forma la escoria que protege al cordón caliente, retardando su enfriamiento, para que no llegue a templarse por el contacto violento con el aire frío, permitiendo que los gases escapen del metal.
- Compensar la pérdida de los elementos que, por acción de la alta temperatura del arco eléctrico, tienden a desaparecer durante el proceso de fusión. Los elementos de compensación mejoran muchas veces el metal depositado y le dan características mecánicas superiores al metal base.
- Aportar elementos de aleación para obtener propiedades y características determinadas en el metal depositado.

C) Funciones mecánicas

- El revestimiento tiende a fundirse inmediatamente después que el núcleo metálico, formando una concavidad; de forma tal que el revestimiento permita dirigir la fuerza del arco y las gotas del metal fundido en la dirección deseada.

Esta función que cumple el revestimiento es de gran utilidad, sobre todo en posiciones forzadas.

- Permitir el depósito de cordones, “arrastrando” el electrodo. En muchos casos, el revestimiento establece contacto con la pieza, cuando se está soldando. En realidad, el revestimiento, que sobresale del núcleo, establece la separación entre la pieza y el extremo del núcleo metálico y entonces el arco arde dentro de la concavidad formada por el revestimiento.

2.1.2.6.- Designación de electrodos de soldadura SMAW para acero al carbono

AWS designa a los electrodos de soldadura SMAW para acero al carbono así:

E - XXXX
(1) (2) (3) (4) (5)

- (1) Lo identifica como electrodo
- (2) y (3) Indican la resistencia a la tensión x 1000 PSI.
- (4) Indica la posición que se debe usar para optimizar la operación del electrodo.
- (5) Indica el tipo de corriente y tipo de fundente.

Tabla 2.3. Posición de operación del electrodo (Fuente: P. Rodríguez. 2001)

Clasificación	Posición
E- XX1X	Cualquier posición (Plana, horizontal, sobre cabeza y vertical)
E- XX2X	Plana y horizontal solamente
E- XX3X	Plana solamente
E- XX4X	Plana, sobre cabeza, horizontal y vertical hacia abajo

Tabla 2.4. Características de los electrodos. (Fuente: P. Rodríguez. 2001)

Clasificación AWS	Tipo de Revestimiento	Corriente y Polaridad	Posición a soldar
E-6010	Celulósico Sódico	CC.EP.	P.V.SC.H.
E-6011	Celulósico Potásico	CA.CC.EP.	P.V.SC.H.
E-6012	Rutilico Sódico	CA.CC.EN.	P.V.SC.H.
E-6013	Rutilico Potásico	CA.CC.AP.	P.V.SC.H.
E-7014	Rutilico H.P.	CA.CC.AP.	P.V.SC.H.
E-7015	Rutilico Sódico B.H.	CC.EP.	P.V.SC.H.
E-7016	Rutilico Potásico B.H.	CA.CC.EP.	P.V.SC.H.
E-7018	Rutilico Potásico B.H.-H.P.	CA.CC.EP.	P.V.SC.H.
E-6020	Oxido de Hierro	CA.CC.AP.	P.H. Filete
E-7024	Rutilico H.P.	CA.CC.AP.	P.H. Filete
E-7027	Oxido de Hierro H.P.	CA.CC.AP.	P.H. Filete
Nomenclatura	CC: Corriente Continua	EP: Electrodo Positivo	P: Plana
HP: Hierro en Polvo	CA: Corriente Alterna	EN: Electrodo Negativo	V: Vertical
BH: Bajo Hidrógeno	AP: Ambas Polaridades	SC: Sobrecabeza	H: Horizontal

2.1.2.6.1.- Electrodo para aceros al Carbono¹⁴

Electrodos AWS E-6010.- El revestimiento es de sodio con alto contenido de celulosa. Puede utilizarse en todas las posiciones con corriente directa electrodo conectado al polo positivo. Los cordones depositados por los electrodos muestran una ondulación bastante irregular.

Electrodos AWS E-6011.- Tienen un revestimiento de potasio de alto contenido de celulosa se pueden usar con corriente alterna o corriente continua. Producen un arco excavador con penetración profunda.

Electrodo AWS E-6012.- Están recubiertos con sodio de alto contenido de titanio. Se puede utilizar en todas las posiciones ya sea con corriente alterna o corriente continua. Tiene un arco silencioso, penetración media y sin generación de chispas, para mejorar la chispa del arco algunos patentados tienen pequeñas cantidades de polvo de hierro en el recubrimiento

¹⁴PASTOR, Mario. Introducción a la metalurgia de la soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Electrodo AWS E-6013.- Tiene recubrimiento de potasio con alto contenido de titanio, puede usarse con corriente alterna o continua en todas las posiciones producen menos chispas que los anteriores y tienden a socavar menos. Se los utiliza para soldar espesores delgados.

Electrodo AWS E-7014.- Recubrimiento similar a los E-6012 y E-6013. Contiene polvo de hierro por lo que su revestimiento es más grueso. Adecuados para productos de forma irregular, fácil desprendimiento de la escoria, poca penetración y rápida solidificación.

Electrodo AWS E-7015.- Tienen recubrimiento de sodio de bajo contenido de hidrógeno, fueron los primeros electrodos para corriente continua de polaridad inversa y para todas las posiciones. Diseñados para soldar aceros con alto contenido de carbono y azufre que tienden a generar porosidad en la soldadura y grietas bajo el cordón.

Electrodo AWS E-7016.- Presenta un recubrimiento al que se le adiciona silicato de potasio u otras sales del mismo elemento se lo puede usar con corriente alterna o corriente continua electrodo conectado al polo positivo.

Electrodo AWS E-7018.- Son de bajo hidrógeno, contiene hierro pulverizado 30% en el revestimiento se los puede utilizar con corriente alterna o corriente continua electrodo conectado al polo positivo, producen soldaduras sólidas, confiables en aceros difíciles de soldar como los aceros de alto contenido de azufre, alto carbono y baja aleación.

Electrodo AWS E-6020.- Contenido de óxido de hierro en el revestimiento diseñado para realizar cordones de filetes horizontales de alta calidad y a elevadas velocidades de aplicación se puede utilizar ya sea con corriente alterna o corriente alterna electrodo conectado al polo negativo. Tiene un arco tipo de rocío y

produce escoria gruesa. A corrientes normales tiene mediana penetración, pero a elevadas corrientes la penetración es profunda.

Electrodo AWS E-6024.- Tiene 50% de polvo de hierro en el revestimiento, adecuados para soldadura de filete, alto régimen de depósito y mayores velocidades de aplicación solo se puede soldar en posiciones plana y horizontal.

Electrodos AWS E-6027.- Es adecuado para soldaduras de varias pasadas en ranura profunda. Depósito de alta calidad con propiedades físicas semejantes a las del E-6010.

Electrodos AWS E-7028.- El revestimiento contiene 50% de polvo de hierro, tiene bajo contenido de hidrógeno, se lo puede utilizar con corriente alterna y corriente continua electrodo conectado al polo positivo son adecuados en posiciones plana y horizontal.

Tabla 2.5. Características mecánicas requeridas de los electrodos de acero al carbono. (Fuente: AWS 5.1-81 Specification for covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes)

AWS Classification	Tensile strength, min ^b		Yield strength, at 0.2 percent offset, min ^b		Elongation min, percent
	ksi	MPa	ksi	MPa	
E60 series electrodes^c					
E6010	62	430	50	340	22
E6011	62	430	50	340	22
E6012	67	460	55	380	17
E6013	67	460	55	380	17
E6020	62	430	50	340	22
E6022 ^d	67	460	Not required		Not required
E6027	62	430	50	340	22
E70 series electrodes^e					
E7014	72	500	60	420	17
E7015					22
E7016					22
E7018					22
E7024 ^f					17
E7027					22
E7028					22
E7048	22				

2.1.2.6.2.- Zonas Presentes en la soldadura

La Región Fundida.- En esta zona se presenta la fusión y posterior solidificación del material de aporte con el material base formando el metal de soldadura.

La línea de fusión.- Es el límite entre el metal fundido y la zona de estado sólido es la zona con alta susceptibilidad al inicio de fisuras, se presentan zonas con fusión parcial.

La zona afectada por el calor (ZAC/ ZAT) Esta región del metal base sufre ciclos de calentamiento y enfriamiento en la cual se producen transformaciones en fase sólida.

“Cuando partes estructurales son soldadas por fusión, en la junta, el material de ambos componentes es calentado hasta su punto de fusión bajo condiciones de restricción impuestas por la geometría del sistema. Debido a este severo ciclo térmico la estructura original del material y sus propiedades son modificadas en una región cercana a la soldadura. Este volumen de material afectado térmicamente se lo denomina usualmente como zona afecta por el calor (ZAC). Esta zona es convenientemente dividida en subzonas, las que se pueden observar en la figura 2.10 para el caso de un acero”. (L. A. de Vedia y H. G. Svoboda ,2004)

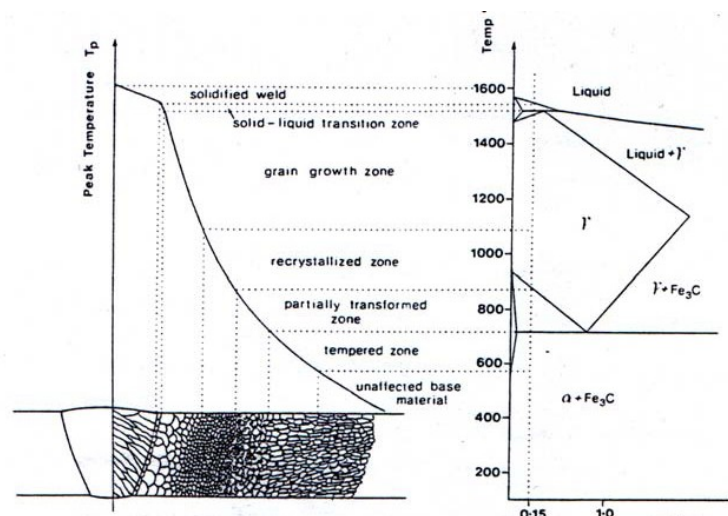


Figura 2.10 Diagrama esquemático de las zona afectada por el calor y las sub-zonas derivadas indicadas sobre un diagrama Fe-Fe₃C

Fuente: L. A. de Vedia y H. G. Svoboda

Para comprender los procesos que tienen lugar en la ZAC es necesario considerar cómo la microestructura del metal base reacciona al ciclo térmico completo aplicado, es decir el ciclo de calentamiento, el tiempo de mantenimiento a temperatura y el ciclo de enfriamiento. Junto con esto deben tenerse en cuenta los efectos de dicho ciclo térmico en las transformaciones de fase.

Durante el calentamiento en la zona del material que alcance temperaturas que se encuentren en el rango entre la temperatura crítica superior y alrededor de 1200°C se formarán granos de austenita, que crecerán relativamente lento. Cuando se supere la temperatura de crecimiento de grano la velocidad de crecimiento aumentará fuertemente.

2.1.2.7.- Propiedades mecánicas de los materiales

Para diseñar un elemento mecánico se debe conocer las características del material cuando están sometidos a fuerzas o cargas. Dependiendo de la aplicación se debe cuidar que el material no sea sometido a esfuerzos excesivos con la consecuente fractura del elemento. El desempeño mecánico de un material es el reflejo de la relación entre su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada.

Algunas de las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez.

Las propiedades de los materiales son obtenidas realizando ensayos de laboratorio.

Conceptos de tensión y deformación

“Si una carga es estática o bien cambia de forma relativamente lenta con el tiempo y es aplicada uniformemente sobre una sección o superficie de una pieza, el comportamiento mecánico puede ser estimado mediante un simple ensayo esfuerzo - deformación. Con metales, este ensayo se realiza normalmente a

temperatura ambiente. Existen tres principales maneras de aplicar la carga, a saber: tracción, compresión y cizalladura (Figuras 2.11 a, b, c). En las aplicaciones de ingeniería, muchas cargas son torsionales más que de cizalladura pura; este tipo de carga se ilustra en la figura 2.11d.” (Callister, 2005)

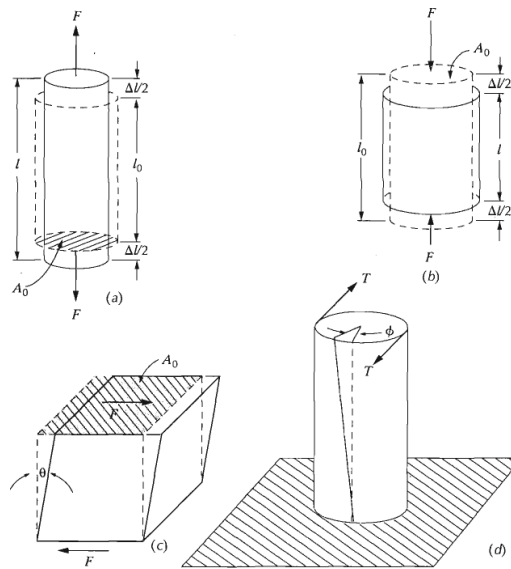


Figura 2.11 (a) Ilustración esquemática de cómo una carga de tracción produce un alargamiento y una deformación lineal positiva. Las líneas discontinuas representan la forma antes de la deformación; las líneas sólidas, después de la deformación. (b) Ilustración esquemática de cómo una carga de compresión produce una contracción y una deformación lineal negativa. (c) Representación esquemática de la deformación de cizalladura, γ , donde $\gamma = \tan\theta$. (d) Representación esquemática de una deformación torsional (o sea, ángulo de giro ϕ) producido por un par aplicado T.

Fuente:W. Callister

Deformación o alargamiento: Cuando se aplica a una barra una fuerza de tensión uniaxial, tal como se muestra en la figura 2.11 (a), 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.

Deformación elástica: alteración del material que se recupera al eliminar la fuerza aplicada.

Deformación plástica: alteración permanente de un material al aplicarle una carga y después quitarla.

2.1.2.7.1.- Ensayo de Tracción

El ensayo de tensión se utiliza para evaluar varias propiedades mecánicas de los materiales que son importantes en el diseño,

En este ensayo la muestra se deforma usualmente hasta la fractura incrementando gradualmente una tensión que se aplica uniaxialmente a lo largo del eje longitudinal de la muestra. Las muestras normalmente tienen sección transversal circular, aunque también se usan especialmente rectangulares. Figura 2.12. Durante la tensión, la deformación se concentra en la región central más estrecha, la cual tiene una sección uniforme a lo largo de su longitud. La muestra se sostiene por sus extremos en la máquina por medio de soportes o mordazas que a su vez someten la muestra a tensión a una velocidad constante. La máquina al mismo tiempo mide la carga aplicada instantáneamente y la elongación resultante (usando un extensiómetro). Un ensayo de tensión normalmente dura pocos minutos y es un ensayo destructivo, ya que la muestra es deformada permanentemente y usualmente fracturada.

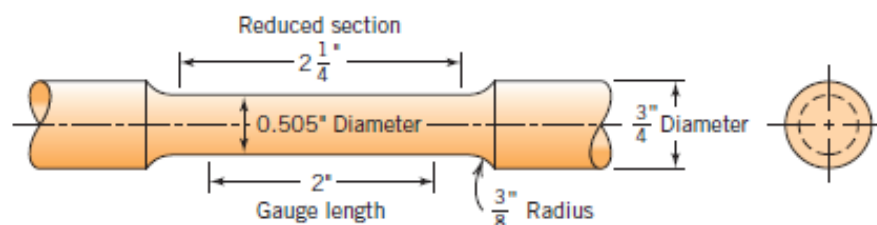


Figura 2.12 Probeta de tracción normalizada con sección recta circular.

Fuente: W. Callister

El diámetro normalizado es aproximadamente igual a 12,8 mm (0,5 pulg.), mientras que la longitud de la sección reducida debe ser igual a por lo menos cuatro veces su diámetro, siendo usual 60 mm. La longitud de prueba normalizada es 50 mm (2,0 pulg.). La probeta se monta con sus extremos en las mordazas de la máquina de ensayos (Figura 2.13).¹⁵

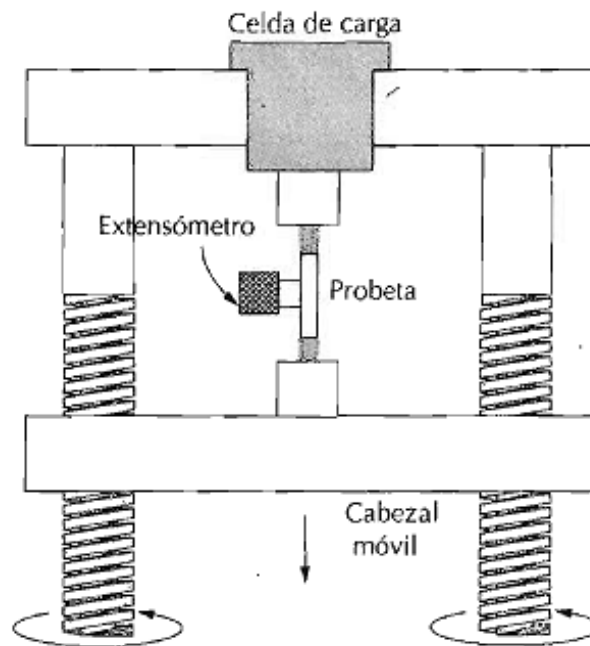


Figura 2.13 Esquema del aparato utilizado para realizar ensayos de tracción. La probeta es alargada por el cabezal móvil; la celda de carga y el extensómetro miden, respectivamente, la carga aplicada y el alargamiento.

Fuente: W. Callister

La tensión nominal σ se define mediante la relación:

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

En donde F es la carga instantánea aplicada perpendicularmente a la sección de la probeta, en unidades de newtons (N) o libras fuerza (lb_f), y A_0 es el área de la sección original antes de aplicar la carga (m^2 o $pulg^2$). Las unidades de tensión

¹⁵WILLIAM D. CALLISTER, Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, Editorial REVERTE

nominal son libras fuerza por pulgada cuadrada, psi (unidades del sistema U.S.) o bien megapascales, MPa (SI); $1MPa = 10^6 N/m^2$.¹⁶

La deformación nominal se define como:

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

En donde l_0 es la longitud original antes de aplicar la carga, y l_i es la longitud instantánea. Algunas veces la cantidad $l_i - l_0$ se indica simplemente mediante Δl , y es el alargamiento producido por deformación, o cambio en longitud en un instante determinado, con respecto a la longitud inicial. La deformación nominal no tiene unidades, aunque a menudo se utiliza pulgadas por pulgada o bien metros por metro; el valor de la deformación obviamente es independiente del sistema de unidades. A veces, la deformación se expresa como porcentaje, esto es, el valor de la deformación multiplicado por 100.¹⁶

Propiedades obtenidas del ensayo de tracción

Las propiedades mecánicas que son de importancia en ingeniería y que pueden deducirse del ensayo tensión – deformación son las siguientes:

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

¹⁶WILLIAM D. CALLISTER, Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, Editorial REVERTE

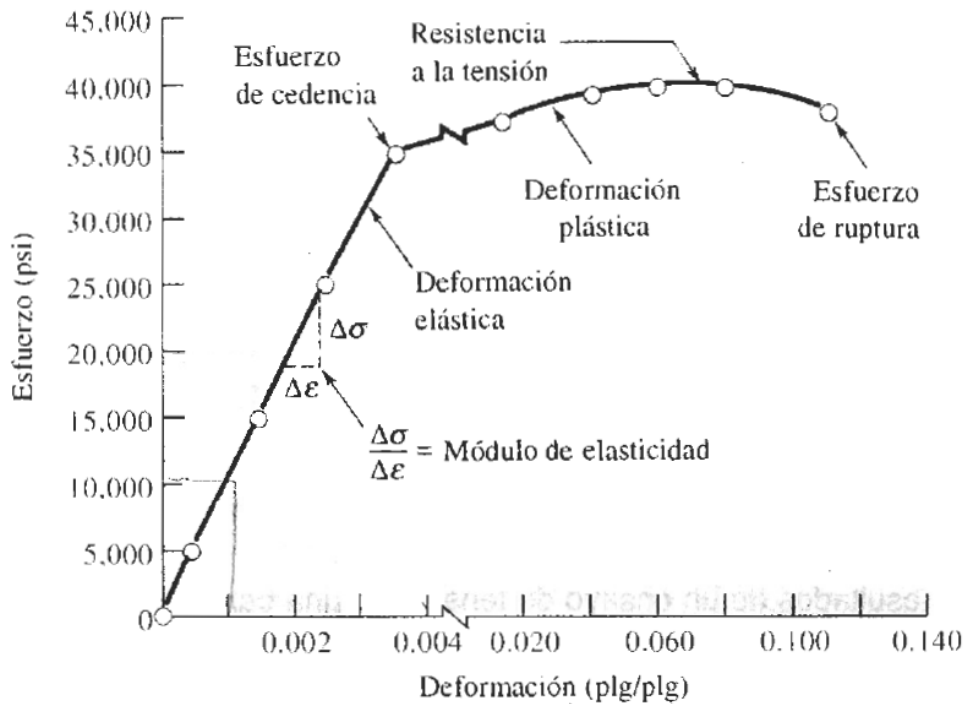


Figura 2.14 Curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación de aluminio
Fuente: D. Askeland

1. Módulo de elasticidad:

Al inicio del ensayo de tracción, 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.

$$\sigma = E\epsilon$$

Esta relación se conoce con el nombre de ley de Hooke, y la constante de proporcionalidad, E (MPa, o bien, psi) es el módulo de elasticidad, o módulo de Young.¹⁷

¹⁷GONZALES, Wenceslao y MARCINI Héctor. Ingeniería de Materiales y Estructuras.

2. Limite Elástico:

Es el esfuerzo al cual un material muestra deformación plástica significativa. También se conoce como esfuerzo de cedencia. Debido a que no hay un punto definido en la curva de esfuerzo – 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, como se indica en la figura 2.15.¹⁸

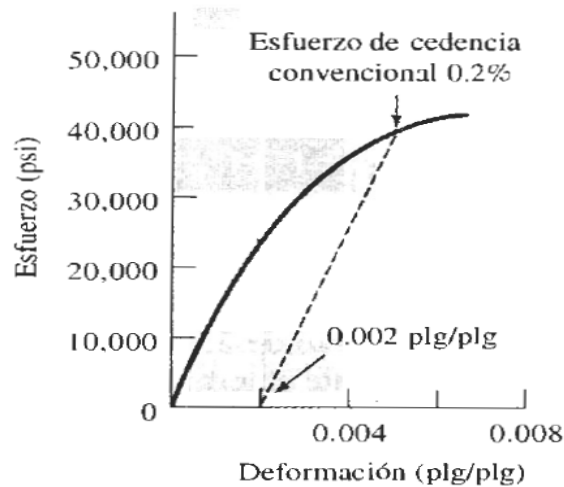


Figura 2.15 Determinación del límite elástico convencional al 0.2% de deformación en el hierro fundido.

Fuente: D. Askeland

3. Resistencia máxima de la tensión:

La resistencia máxima a la tensión es el esfuerzo máximo alcanzada en la curva de esfuerzo – 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

¹⁸GONZALES, Wenceslao y MARCINI Héctor. Ingeniería de Materiales y Estructuras.

sea el metal, mayor será el decrecimiento del esfuerzo en la curva esfuerzo-deformación después del esfuerzo máximo.

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 2.16). 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.

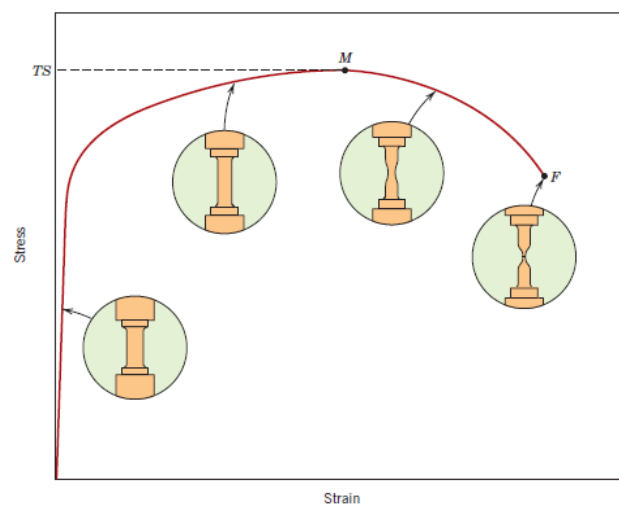


Figura 2.16 Curva típica de tracción hasta la fractura, punto F. La resistencia a la tracción TS está indicada en el punto M. Los insertos circulares representan la geometría de la probeta deformada en varios puntos de la curva.

Fuente: W. Callister

4. Porcentaje de Elongación – Ductilidad:

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 (50 mm). En general, a mayor ductilidad (más deformable es el metal), mayor será el porcentaje de la elongación.¹⁹

¹⁹GONZALES, Wenceslao y MARCINI Héctor. Ingeniería de Materiales y Estructuras.

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:

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

Donde l_f es la longitud en el momento de la fractura y l_0 es la longitud de prueba original como se ha mencionado antes. Siempre que una parte significativa de la deformación plástica a la rotura esté confinada en la región de la estricción, la magnitud de %EL dependerá de la longitud de prueba de la probeta. Cuanto más corta sea l_0 , mayor será la fracción del alargamiento total que proviene de la estricción, y, por consiguiente mayor será el valor de %EL. Por tanto, se debe especificar el valor de l_0 cuando se menciona el alargamiento relativo, el cual se suele tomar igual a 50 mm (2 pulgadas).²⁰

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 de áreas - Ductilidad:

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.

²⁰WILLIAM D. CALLISTER, Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, Editorial REVERTE

$$\%AR = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100$$

Donde A_0 es el área de la sección inicial y A_f es el área de la sección en el momento de la fractura. Los valores del porcentaje de reducción de área son independientes de l_0 y A_0 . Además, para un determinado material los valores de %EL y %AR son en general diferentes. La mayoría de los metales tienen por lo menos un pequeño grado de ductilidad a temperatura ambiente; sin embargo, algunos se hacen frágiles a medida que la temperatura disminuye.²¹

A partir de ensayos de tensión - deformación se pueden determinar importantes propiedades mecánicas. La tabla 6.2 presenta valores típicos a temperatura ambiente del límite elástico, resistencia a la tracción y ductilidad de algunos de los metales más comunes, los cuales han sido tratados térmicamente para que tengan una baja resistencia.

Tabla 2.6. Propiedades mecánicas típicas de varios metales en el estado de recocido y de pureza comercial (Fuente: W. Callister)

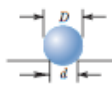

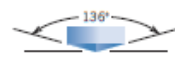

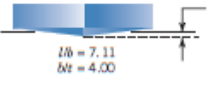

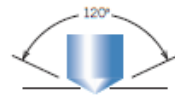


Tabla 2.6 Propiedades mecánicas típicas de varios metales en el estado de recocido y de pureza comercial					
Metal	Límite elástico		Resistencia a la tracción		Ductilidad
	<i>psi (MPa)</i>		<i>psi (MPa)</i>		%EL (en 2 pulg.)
Aluminio	4000	28	10000	69	45
Cobre	10000	69	29000	200	45
Acero	19000	130	38000	262	45
Níquel	20000	138	70000	480	40

²¹WILLIAM D. CALLISTER, Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, Editorial REVERTE

2.1.2.7.2.- Dureza

La dureza es “Una medida de la resistencia de un material a la deformación plástica localizada (por ejemplo, una pequeña abolladura o rayadura). Los primeros ensayos de dureza se basaban en el comportamiento de los minerales junto con una escala construida según la capacidad de un material para rayar a otro más blando. Un método cualitativo de ordenar de forma arbitraria la dureza es ampliamente conocido y se denomina escala de Mohs, la cual va desde 1 en el extremo blando para el talco hasta 10 para el diamante. A lo largo de los años se han ido desarrollando técnicas cuantitativas de dureza que se basan en un pequeño penetrador que es forzado sobre una superficie del material a ensayar en condiciones controladas de carga y velocidad de aplicación de la carga. En estos ensayos se mide la profundidad o tamaño de la huella resultante, lo cual se relaciona con un número de dureza; cuanto más blando es el material, mayor y más profunda es la huella, y menor es el número de dureza. Las durezas medidas tienen solamente un significado relativo (y no absoluto), y es necesario tener precaución al comparar durezas obtenidas por técnicas distintas”.(Callister, 2005)

Tabla 2.7. Técnicas de ensayo de dureza (Fuente: W. Callister)

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> ⎧ Diamond cones ⎩ $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres 		 	<ul style="list-style-type: none"> 60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg } 	

Ensayo de Dureza Brinell

Es un ensayo mecánico propuesto por el sueco J.A. Brinell en 1900. Consiste en una prensa hidráulica de operación manual diseñada para imprimir un penetrador duro esférico sobre la superficie de la probeta analizada; la presión se mide por un manómetro y se aplica por medio de una bomba de aceite, la pieza de ensayo se coloca en soporte que puede subir o bajar mediante un tornillo

Se fuerza un indentador de balón de acero templado o de carburo de tungsteno de un diámetro adecuado a la dureza del material contra la probeta, con una fuerza adecuada para la dureza del material. El tiempo de aplicación de la fuerza varía entre 10-30 s. El diámetro del penetrador de acero endurecido (o bien de carburo de tungsteno) es de 10.00mm (0.394pulg). Las cargas normalizadas están comprendidas entre 500 y 3000 kg en incrementos de 500 kg; durante un ensayo, la carga se mantiene constante durante un tiempo especificado (entre 10 y 30 s).

Dependiendo de la aleación examinada; después se quita la carga y se mide el diámetro de la impresión en la probeta con un microscopio o lente especial . Para materiales duros, es poco exacta pero fácil de aplicar. Poco precisa con chapas de menos de 6mm de espesor.

El valor así obtenido, se aplica a la fórmula Brinell. El número de dureza Brinell se define como la fuerza aplicada dividida por la superficie de contacto entre el indentador y la probeta después de haberse retirado el indentador.

Para hallar el grado de dureza Brinell, se emplea la siguiente fórmula:

$$HB = \frac{F}{\left(\frac{\pi}{2}\right) D(D - \sqrt{D^2 - Di^2})}$$

Donde F es la carga aplicada en kilogramos, D es el diámetro del penetrador en mm, y D_i es el diámetro de la impresión en mm.²²

Ensayo de dureza Rockwell

“El *ensayo de dureza Rockwell* utiliza una pequeña bola de acero para materiales blandos y un 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 2.8. La escala Rockwell C (HRC) se utiliza para aceros duros, en tanto que para medir la dureza del aluminio se selecciona la escala Rockwell F (HRF).” (Askeland, D.)

Tabla 2.8. Comparación de ensayos de dureza típicos. (Fuente: W. Callister)

ENSAYO	PENETRADOR	CARGA	APLICACION
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

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.

²²ASKELAND, Donald. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Tercera Edición. Tompson Editores.

La dureza Brinell está estrechamente relacionada con la resistencia a la tracción de la mayoría de los aceros por las siguientes fórmulas:²³

$$\text{Resistencia a la tracción (psi)} = 500 \times HB$$

$$\text{Resistencia a la tracción (MPa)} = 3,45 \times HB$$

2.1.2.7.3.- Impacto

“Cuando se somete un material a un golpe súbito e intenso, en el cual la velocidad de aplicación del esfuerzo es extremadamente grande, el material puede tener un comportamiento más frágil comparado con el que se observa en el ensayo de tensión. El ensayo de impacto a menudo se utiliza para evaluar la fragilidad del material bajo estas condiciones. Se han diseñado muchos procedimientos incluyendo el ensayo Charpy y el ensayo Izod (figura 2.17). Éste último generalmente se utiliza para materiales no metálicos. La probeta puede o no tener muesca; la que tiene V mide mejor la resistencia del material a la propagación de grietas”. (Askeland, D.)

En el ensayo de impacto un martillo pesado golpea la probeta, El martillo inicia su recorrido a una altura h_0 , tiene un recorrido circunferencial, rompa la probeta y se eleva hasta una altura h_1 . Al conocer las alturas inicial y final se puede determinar la energía absorbida por la probeta durante la falla o la fractura, que sería la diferencia entre la energía potencial inicial y la energía potencial final.

“En el caso del ensayo Charpy, la energía por lo general se expresa en lb.pie o en joules (J) donde $1 \text{ lb.pie} = 1.356 \text{ J}$. Los resultados del ensayo Izod se expresan en lb.pie/plg o J/m. La capacidad del material para resistir cargas de impacto a menudo se conoce como tenacidad del material”. (Askeland, D.)

²³WILLIAM D. CALLISTER, Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales.

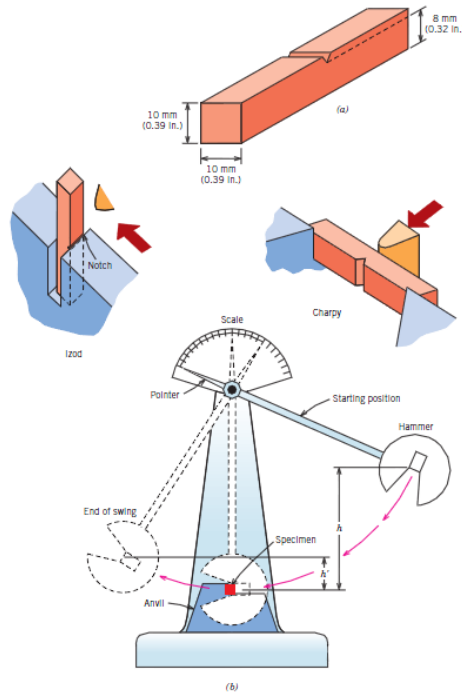


Figura 2.17 Esquema y probetas del ensayo Charpy e Izod.
Fuente: W. Callister

2.1.2.7.4.- Ensayos Metalográficos

La Metalografía estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación. El microscopio es la herramienta más importante del metalurgista, mediante éste es posible determinar el tamaño, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas; además la microestructura revelará el tratamiento mecánico y térmico del metal.²⁴

Si se prepara la superficie de una probeta metálica en forma apropiada y se la examina bajo un microscopio, se encontrará que posee una estructura granular. Cada grano de la estructura es un pequeño cristal y, si la probeta es una sustancia metálica pura, los cristales tendrán: (a) formas casi iguales, (b) tamaños aproximadamente iguales, y (c) orientaciones variadas. En probetas diferentes de un metal dado, los tamaños y formas de los cristales variarán con el historial

²⁴AVNER, Sidney. (1978). Introducción a la Metalurgia Física. México. Mc Graw Hill.

anterior de la probeta, esto es, el tratamiento que haya recibido el metal. Cuando los granos de un metal son visibles a simple vista, se les llama macroscópicos.

Operaciones para la preparación de la muestra metalográfica.

Extracción de la muestra

La muestra a ser preparada deberá ser seleccionada adecuadamente, considerando que debe ser la más representativa, según el análisis a realizarse.

Las probetas deben tener un tamaño conveniente. Las probetas de manejo más cómodo son aquellas cuya altura mínima es de 12 mm.

La muestra debe mantenerse fría durante la operación de cortado, para evitar transformaciones estructurales.

Desbaste grueso

Es una operación establecida para remover las rebabas y todas las rayaduras debidas al corte. Esto puede lograrse presionando uniformemente la probeta sobre una desbastadora provista de lija número 60, 80, 100 y dependiendo de la necesidad. Durante esta operación debe mantenerse la probeta fría mediante el flujo de agua.

Desbaste fino

El propósito de esta etapa es remover la zona deformada causada por los dos procesos anteriores. Esto se logra bajo una selección adecuada y secuencial de abrasivos (lijas números: 240-320-400-600). Sin embargo, cuando una zona de deformación está siendo removida, se formará una nueva zona de menor deformación, no tan severa ni profunda como la inicial, ocasionada por la acción de los granos abrasivos utilizados en esta etapa. La muestra se desliza sobre las lijas en dirección opuesta al operador de manera que se formen rayas en una sola dirección, para eliminar estas girar la probeta 90° y realizar la misma operación.

Pulido grueso

Es una operación de desbaste leve, además es la etapa más importante y crítica de toda la operación de pulido. Se emplea la pulidora de paño utilizando como abrasivo alúmina de 0,5 - 1 micras en suspensión en agua.

Pulido fino

Luego de concluido el pulido grueso, la superficie de la muestra se encuentra con pequeñas deformaciones, las mismas que serán eliminadas luego de este proceso para posteriormente revelar la microestructura real que tiene la probeta, esta operación se ejecuta utilizando un abrasivo (alúmina de 0,05 – 0,3 micras de tamaño promedio en suspensión en agua).

A continuación nombramos algunas superficies deformadas que se van eliminando hasta llegar a la superficie real.

Superficie de deformación más leve.- es una zona de corte en la superficie, que puede haberse deformado a elevadas temperaturas.

Superficie de deformación menor.- es una capa que contiene deformaciones de bajo orden de magnitud, generadas durante el desbaste fino.

Superficie de deformación total.- contiene deformaciones que pueden ser de alto grado de magnitud y que son restos de la capa deformada producida durante la abrasión preliminar.

Ataque Químico

El propósito del ataque químico es hacer visible al microscopio metalográfico las características estructurales del metal o aleación, mediante la aplicación de un reactivo apropiado sobre la superficie de la probeta, que somete a ésta a una

acción química selectiva reaccionando exclusivamente con uno de los elementos químicos presentes en el material.

La selección del reactivo de ataque se la realiza en base al tipo o clase de metal y por la estructura específica que se desea observar.

Las operaciones de ataque más comunes son:

- Por inmersión de la probeta en el reactivo.
- Mediante algodón empapado con reactivo, el cual se frota sobre la superficie pulida con la ayuda de una pinza.

2.2.- FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El desarrollo de la presente investigación persigue analizar el recocido de juntas soldadas de acero AISI 1018 con electrodo E7018, proceso en el cual influyen diversos factores como la temperatura y el tiempo de recocido, lo que influye directamente sobre las propiedades mecánicas y microestructura de la junta, parámetros que inciden de gran manera en el desempeño de un elemento mecánico obtenido o reparado, la orientación será crítico propositiva ya que por medio de ésta se considera la participación de los factores involucrados en el problema, relacionando causas y efectos, con el fin de plantear alternativas de solución

Mediante el paradigma crítico –propositivo se indicará formas de solución al problema, brindando un desarrollo de fácil comprobación y proporcionando una correcta comprensión.

La investigación podrá estar sometida a cambios de ser necesario, debido a la intervención del hombre y la sociedad en el ambiente industrial que con un cambio en la forma de pensar y de actuar estarán modificando el proceso tanto en aspecto físico como espiritual para enfocarlo a las necesidades del entorno.

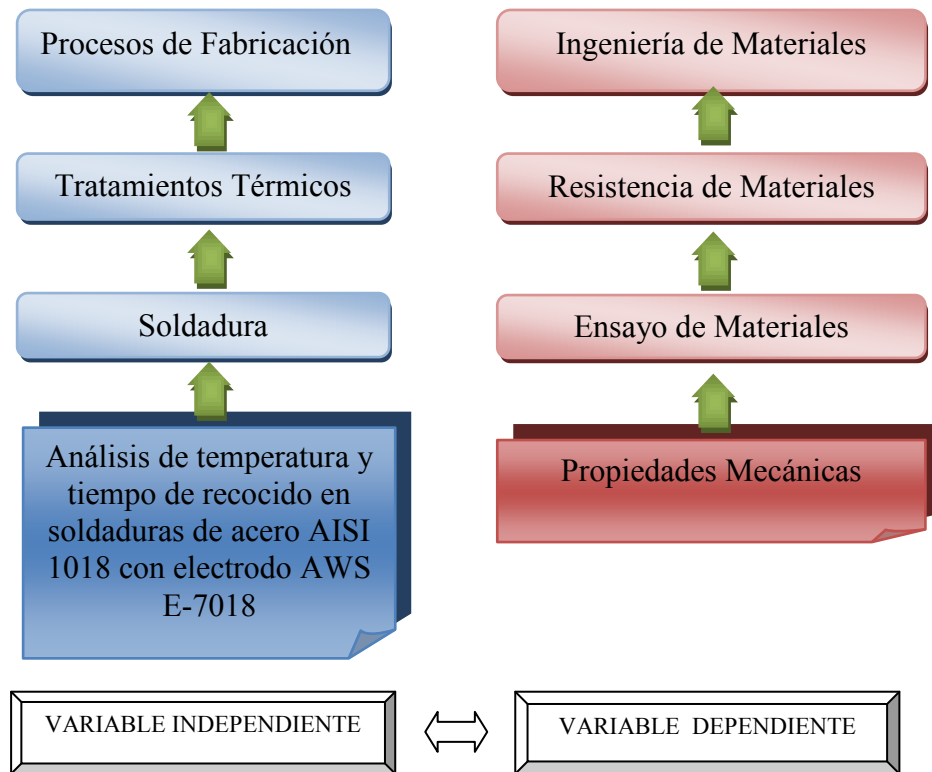
2.3.- FUNDAMENTACIÓN LEGAL

No se ha encontrado ley que se oponga a realizar el análisis de recocido en soldaduras de acero AISI 1018 y su incidencia en la las propiedades mecánicas.

Existen normas en las cuales se apoyará la presente investigación, las que se enlistan a continuación:

- ASTM E-8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹
- ASTM E-3 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens¹
- ASTM E-10 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials¹
- ASTM E-18 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials^{1,2}
- ASTM E-112 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size¹
- ASTM A-311 Standard Specification for Cold-Drawn, Stress-Relieved Carbon Steel Bars Subject to Mechanical Property Requirements¹
- ASTM A-29 Standard Specification for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought and Cold-Finished, General Requirements for¹
- ASTM E-111 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus¹
- ASTM E-23 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹
- ASME IX Boiler and Pressure Vessel Code

2.4.- CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



2.5.- HIPÓTESIS

El análisis de recocido en soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 permitirá alcanzar mejores propiedades mecánicas

2.6.- SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.6.1.- VARIABLE INDEPENDIENTE

Análisis de recocido en soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018.

2.6.2.- VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades mecánicas

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1.- ENFOQUE

En la ejecución de la investigación se tiene un enfoque Cualitativo-Cuantitativo, se orientó al análisis de temperaturas y tiempos de recocido, además que se apuntó a medir las propiedades mecánicas y se revisó las estructuras metalográficas resultantes del recocido de soldaduras de acero AISI 1018 con electrodo AWS E7018.

3.2.- MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

Proyecto factible con verificación de hipótesis lo que indica realizar una investigación experimental y bibliográfica.

3.2.1.-Experimental.

La investigación fue experimental ya que se elaboraron las probetas para los ensayos de tracción, dureza y metalográficos los que se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2.2.- Bibliográfica

Se complementó la investigación con una modalidad bibliográfica ya que el investigador se apoyó en fuentes primarias y secundarias para abordar de manera teórica – científica el proceso investigativo.

3.3.- NIVEL O TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de investigación se empleó los siguientes tipos:

- Exploratorio
- Descriptiva
- Correlacional
- Estudio de Casos

3.3.1.- Exploratorio

Este tipo de estudios se los realiza cuando el tema no ha sido abordado antes o cuando el problema de investigación ha sido poco estudiado.

El nivel fue exploratorio con el objetivo de realizar el análisis de temperaturas y tiempos de recocido de soldaduras de acero AISI 1018 con electrodo E7018 que no han sido analizados en detalle en nuestro medio.

3.3.2.- Descriptivo

También fue descriptivo ya que se busca especificar las propiedades que se puede obtener al realizar el recocido en soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018. Se caracterizó las juntas soldadas realizando mediciones precisas de las propiedades mecánicas.

3.3.3.- Correlacional

La investigación tuvo como propósito medir el grado de relación que existe entre las dos variables y por que se explica el desempeño de las juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo AWS E-7018

3.3.4.- Estudio de Casos

Los casos para este efecto se selecciona al azar y se han tomaron en cuenta seis:

DE CASOS = 3 Condiciones de Temperatura x 2 Condiciones de Tiempo

DE CASOS = 6 casos

Condiciones de temperatura de recocido :

600°C, 780°C y 870 °C

Condiciones de tiempo de recocido :

1 y 3 horas

3.4.- POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1.- POBLACIÓN

Para la investigación se tomó en cuenta juntas de ejes de acero AISI 1018 soldadas con electrodo AWS E7018, sometidos a seis casos de estudio, con tres condiciones de temperatura de recocido: 600°C, 780°C y 870 °C y dos condiciones de tiempo de recocido: 1 y 3 horas de permanencia en el horno.

Los seis casos de estudio fueron sometidos a siguientes ensayos:

Ensayo de Tracción: Según ASTM E8:04 y ASTM E111:97

Ensayo Metalográfico: Según ASTM E3:01 y ASTM E112:96

Ensayo de Dureza: Según ASTM E10:01

Ensayo de Impacto: Según ASTM E23:02

3.4.2.- MUESTRA

No se tiene muestra debido a que es un estudio de casos.

3.5.- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

A continuación se indica las matrices de operacionalización de las variables independiente y dependiente:

Variable independiente: Análisis de recocido en soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E7018

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS HERRAMIENTA
Recocido Es un tratamiento térmico de un material sometido a elevada temperatura durante un período de tiempo y luego enfriado lentamente	Parámetros de recocido	Temperatura (°C)	593 – 900	Observación Ficha de observación
		Tiempo(horas)	0-3	Observación Ficha de observación

Variable dependiente: Propiedades mecánicas.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS HERRAMIENTA
Propiedades mecánicas Están determinadas mediante ensayos que se utilizan para medir la forma en que un material resiste a una fuerza aplicada.	- Ensayo de tracción	- Resistencia a la tracción (lb/plg ²)	0-80000	Observación Ficha de observación
		- Resistencia a la cedencia (lb/plg ²)	0-60000	Observación Ficha de observación
	- Ensayo de dureza	- Dureza (Brinell)	70- 300	Observación Ficha de observación
	- Análisis metalográfico	- Componentes metalográficos (%)	0-100%	Observación Ficha de observación

3.6.- RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información de tiempo y temperatura de recocido, así como los datos de ensayos de tracción, dureza y análisis metalográfico fueron recolectados mediante los ensayos a realizar en las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018.

3.7.- PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Una vez que se recolectaron los datos se revisó la información para detectar errores y organizarla de manera que pueda facilitar su tabulación, se revisó fotografías metalográficas para determinar y comparar las microestructuras.

Se procesaron los datos de temperatura y tiempo de recocido, así como los resultados de los ensayos de tracción y dureza, se tabularon y se presentaron en diagramas o gráficos para mostrar en resumen las propiedades mecánicas posteriores al recocido de juntas soldadas de acero AISI 1018 con electrodo E-7018.

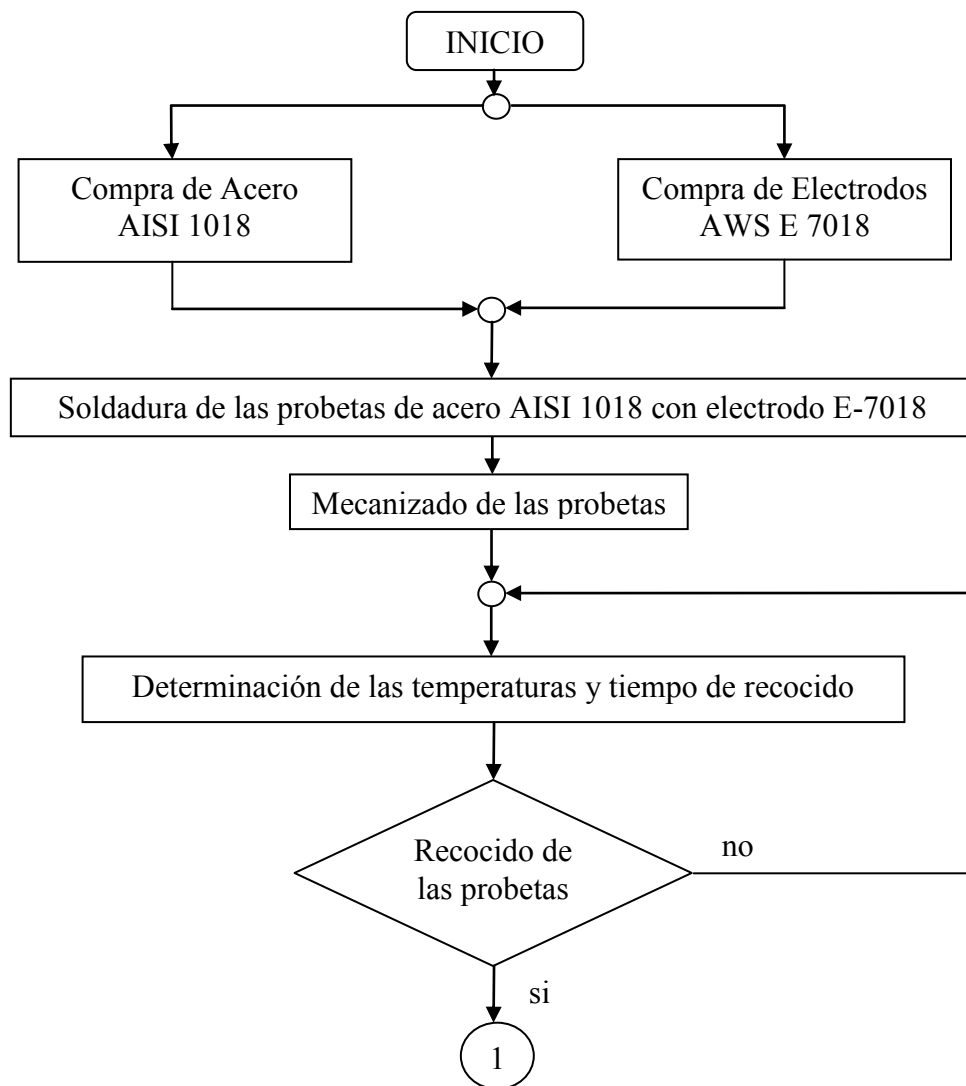
CAPÍTULO IV

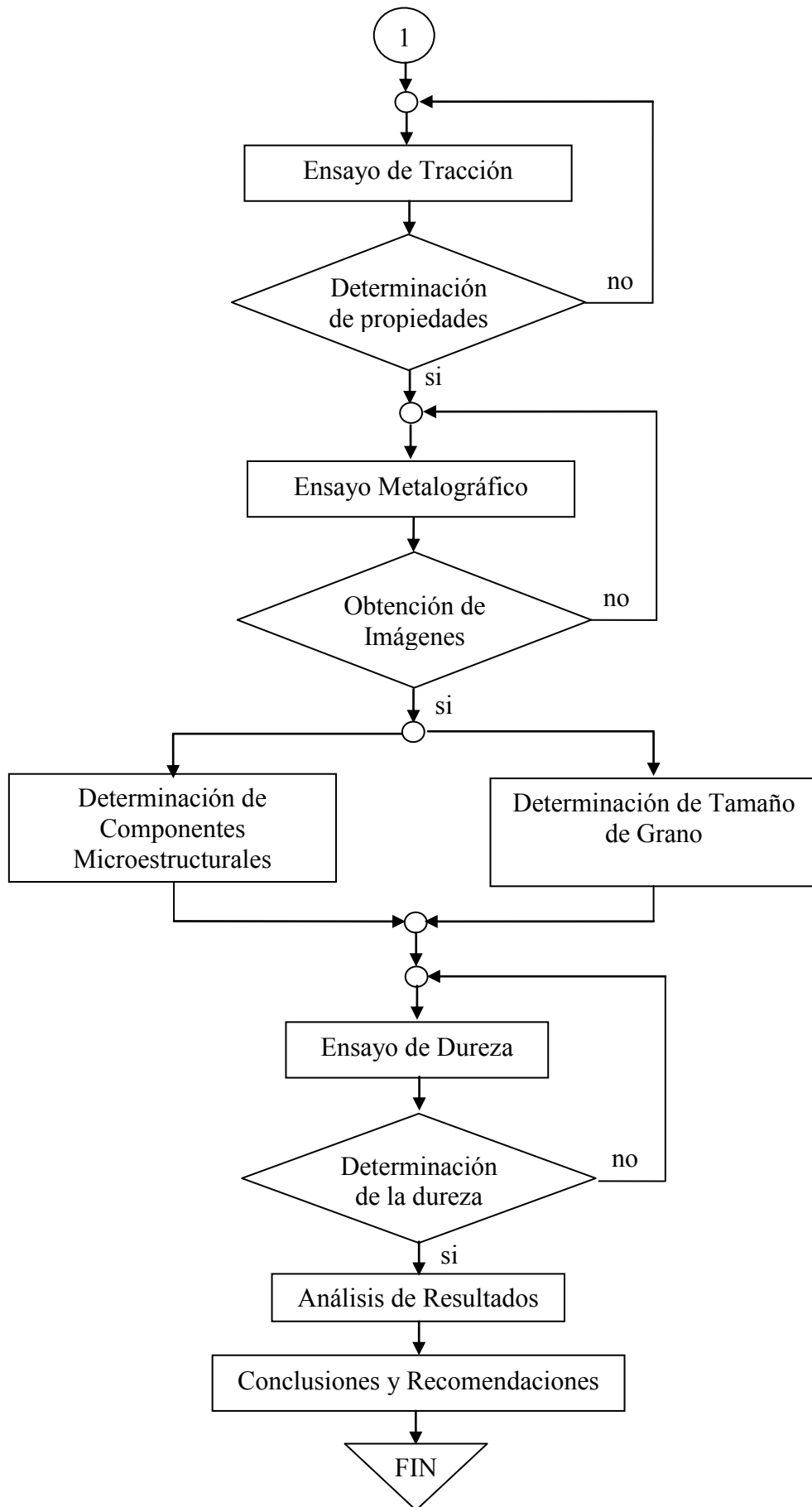
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.1.- PROCESO DE OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso de obtención de resultados el cual ha sido adaptado al Análisis de Recocido en soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018 y su incidencia en las Propiedades Mecánicas.





4.2.- PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de Tracción, Dureza y Metalográficos realizados a las juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo AWS - E 7018, que se encuentran en formatos establecidos para indicar los datos y resultados de los ensayos realizados.

Se realizó los siguientes ensayos en la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWSE-7018

ENSAYO DE TRACCIÓN:

Sin tratamiento térmico	probetas 0.1- 0.2- 0.3- 0.4- 0.5
Recocido a 600 °C por 1 hora	probetas 1.1- 1.2- 1.3- 1.4- 1.5
Recocido a 780 °C por 1 hora	probetas 2.1- 2.2- 2.3- 2.4- 2.5
Recocido a 870 °C por 1 hora	probetas 3.1- 3.2- 3.3- 3.4- 3.5
Recocido a 600 °C por 3 horas	probetas 4.1- 4.2- 4.3- 4.4- 4.5
Recocido a 780 °C por 3 horas	probetas 5.1- 5.2- 5.3- 5.4- 5.5
Recocido a 870 °C por 3 horas	probetas 6.1- 6.2- 6.3- 6.4- 6.5

ENSAYO METALOGRAFICO:

Sin tratamiento térmico	probeta 0.6 METAL BASE, ZAT, SOLDADURA
Recocido a 600 °C, 1 hora	probeta 1.6 METAL BASE, ZAT, SOLDADURA
Recocido a 780 °C, 1 hora	probeta 2.6 METAL BASE, ZAT, SOLDADURA
Recocido a 870 °C, 1 hora	probeta 3.6 METAL BASE, ZAT, SOLDADURA
Recocido a 600 °C, 3 horas	probeta 4.6 METAL BASE, ZAT, SOLDADURA
Recocido a 780 °C, 3 horas	probeta 5.6 METAL BASE, ZAT, SOLDADURA
Recocido a 870 °C, 3 horas	probeta 6.6 METAL BASE, ZAT, SOLDADURA



ENSAYO DE DUREZA:

Sin tratamiento térmico	probeta 0.7
Recocido a 600 °C por 1 hora	probeta 1.7
Recocido a 780 °C por 1 hora	probeta 2.7
Recocido a 870 °C por 1 hora	probeta 3.7
Recocido a 600 °C por 3 horas	probeta 4.7
Recocido a 780 °C por 3 horas	probeta 5.7
Recocido a 870 °C por 3 horas	probeta 6.7


ENSAYO DE IMPACTO:

Sin tratamiento térmico	probeta 0.8- 0.9- 0.10- 0.11- 0.12
Recocido a 600 °C por 1 hora	probeta 1.8- 1.9- 1.10- 1.11- 1.12
Recocido a 780 °C por 1 hora	probeta 2.8- 2.9- 2.10- 2.11- 2.12
Recocido a 870 °C por 1 hora	probeta 3.8- 3.9- 3.10- 3.11- 3.12
Recocido a 600 °C por 3 horas	probeta 4.8- 4.9- 4.10- 4.11- 4.12
Recocido a 780 °C por 3 horas	probeta 5.8- 5.9- 5.10- 5.11- 5.12
Recocido a 870 °C por 3 horas	probeta 6.8- 6.9- 6.10- 6.11- 6.12




4.2.1.- ANÁLISIS DEL ACERO AISI 1018 COMO VIENE DE FÁBRICA

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

DATOS INFORMATIVOS					
PROBETA N°	M1	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ing. H. Vaca
Lugar de realización:		Laboratorio de Materiales-FICM	Fecha de ejecución:		02/05/2012
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL ACERO UTILIZADO				
Material	Acero	Tipo :	AISI 1018	
Diámetro:	3/4 "	Resistencia a la tracción:	410 - 520 N/mm ²	
Longitud:	5"	Dureza:	143 HB	
Características:	Eje	Tratamiento Térmico:	Recocido	
OBSERVACIÓN:				
Las propiedades registradas fueron obtenidas del catálogo de Aceros Bohler. (Anexo A.1)				
Autor: Ing. Henry Vaca O.				

4.2.1.1.- ANÁLISIS METALOGRÁFICO DEL ACERO AISI 1018 COMO VIENE DE FÁBRICA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
		ENSAYO METALOGRÁFICO			
Datos Informativos:					
Tipo de estudio:		De laboratorio		Ensayo N°: 1.6	
Identificación del componente de estudio:				Probeta N° MB 1	
Solicitado por:		Ing. Henry Vaca		Fecha: 25/06/2012	
Normas aplicables:		ASTM E 3:01, ASTM E 112:96			
Centro de Estudio y Análisis:				Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:				Ing. Henry Vaca O.	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Acondicionamiento de la superficie:				Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:		20°C		Superficie preparada en: 30 min	
Ataque Químico de la superficie con:		Nital 4		Durante: 7 seg	
RESULTADO:					
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1018 COMO VIENE DE FÁBRICA					
					
ACERO AISI 1018 COMO VIENE DE FÁBRICA					



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ACERO AISI 1018 COMO VIENE DE FÁBRICA

Determinación del tamaño de grano: Microestructura: Acero AISI 1018 como viene de fábrica

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

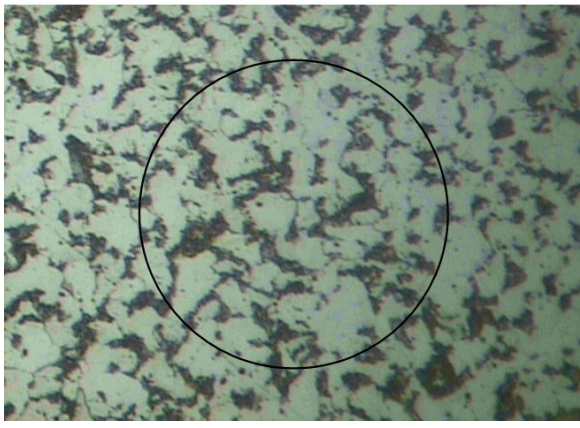
Cálculo:

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(58 + \frac{34}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 75 = 600$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

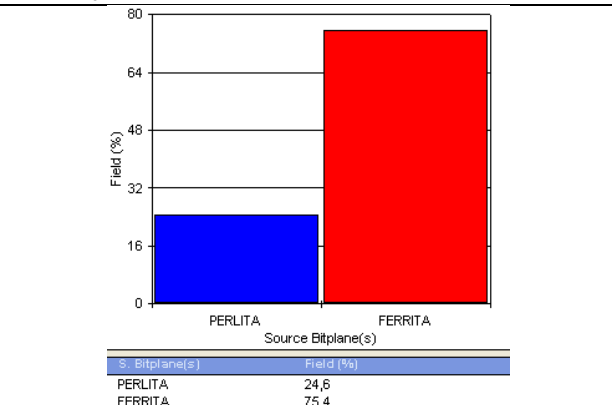
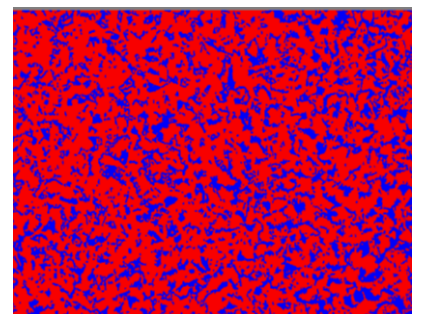
$$G = 3,321918 * \log(600) - 2.954 = 6.27$$


Tamaño de grano ASTM: 6.27 \cong 6

Componentes: Ferrita y Perlita

Componentes microestructurales: 100x

Porcentajes:



Cálculo de la resistencia a la tracción

$$R.T.A = \frac{28 * (\%Ferrita) + 84 * (\%Perlita)}{100}$$

$$R.T.A = \frac{28 * (75.4) + 84 * (24.6)}{100} = 41.776 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\%C = \frac{\% Perlita}{130} = \frac{24.6}{130} = 0.189 \%$$

Interpretación de resultados:

El contenido de carbono corresponde al de un acero AISI 1018, la resistencia a la tracción calculada de 41.776 Kg/mm² (410 N/mm²), está en el rango de un acero AISI 1018 (Anexo A.1)

Observaciones:

4.2.2.-ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div> 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por:		Ing. H. Vaca	Realizado por:
Ing. H. Vaca		Ing. H. Vaca	
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-UTA –FICM	Fecha de ejecución:	03/06/2012
Temperatura ambiente del lugar:	21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	Sin tratamiento térmico	Temperatura de Recocido:	-----	Tiempo de Permanencia en el Horno	-----
Tipo de enfriamiento	-----	Medio de enfriamiento	-----		
Especificación Material Base	Acero	Especificación Material de aporte	Electrodo de acero al carbono		
Tipo o grado:	AISI 1018	Tipo	AWS – E 7018		
Diámetro:	3/4"	Diámetro	1/8"		
Características:	Eje	Normativa	AWS A 5.1		

DETALLE



4.2.2.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO



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

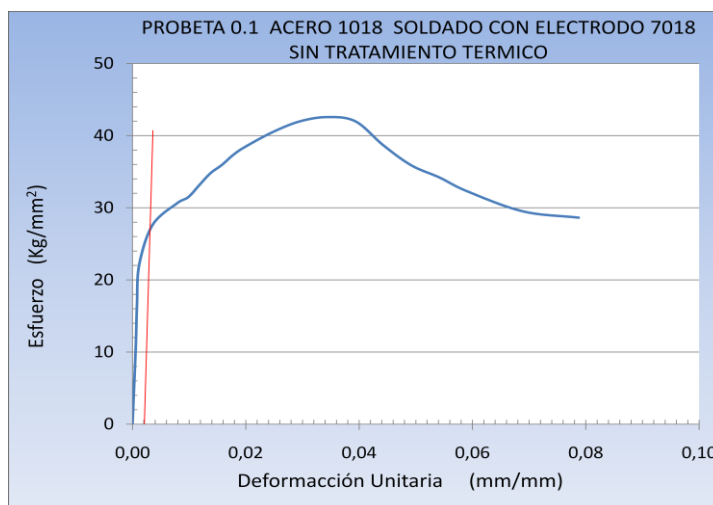


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	0.1	Tratamiento Térmico:	Sin tratamiento
Temperatura de Tratamiento Térmico:	-----	Tiempo de Tratamiento Térmico:	-----
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	03/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5394 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final:	54.9 mm	Deformación Máxima:	4.1 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.3 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	42.58 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	28.5 Kg/mm ²
% de Elongación:	8.07%	% de Reducción de Área:	34.22%
Módulo de Elasticidad:	19200 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

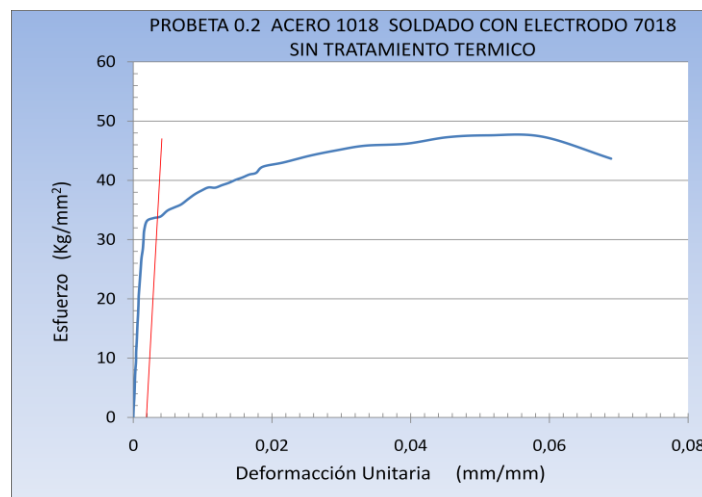


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	0.2	Tratamiento Térmico:	Sin tratamiento
Temperatura de Tratamiento Térmico:	-----	Tiempo de Tratamiento Térmico:	-----
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	03/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	6030 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	56 mm	Deformación Máxima:	5.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.5 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	47.6 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	34 Kg/mm ²
% de Elongación:	10.24%	% de Reducción de Área:	31.64%
Módulo de Elasticidad:	20560 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

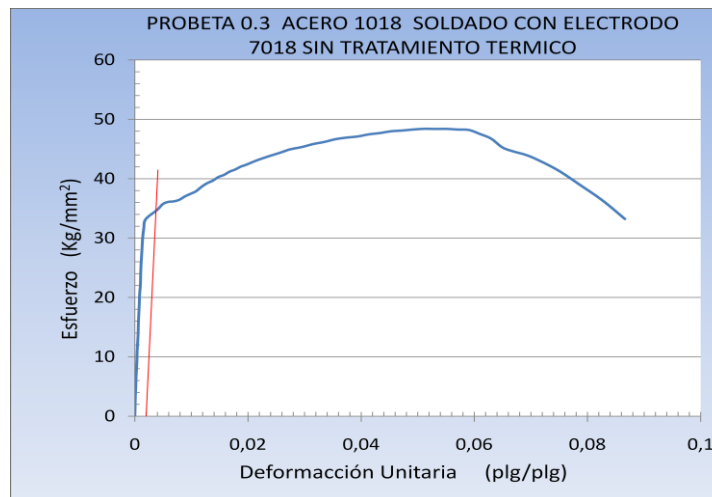


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	0.3	Tratamiento Térmico:	Sin tratamiento
Temperatura de Tratamiento Térmico:	-----	Tiempo de Tratamiento Térmico:	-----
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	04/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	6130 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	55 mm	Deformación Máxima:	4.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	11 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	48.39 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	34.5 Kg/mm ²
% de Elongación:	8.27%	% de Reducción de Área:	24.98%
Módulo de Elasticidad:	20562 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

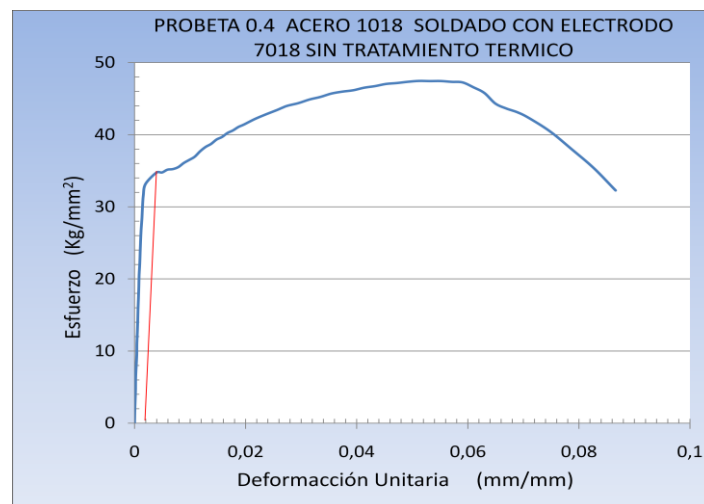


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	0.4	Tratamiento Térmico:	Sin tratamiento
Temperatura de Tratamiento Térmico:	-----	Tiempo de Tratamiento Térmico:	-----
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	04/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	6010 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	55.5 mm	Deformación Máxima:	4.7 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.5 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	47.43 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	34.7 Kg/mm ²
% de Elongación:	9.25%	% de Reducción de Área:	31.64%
Módulo de Elasticidad:	23761 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

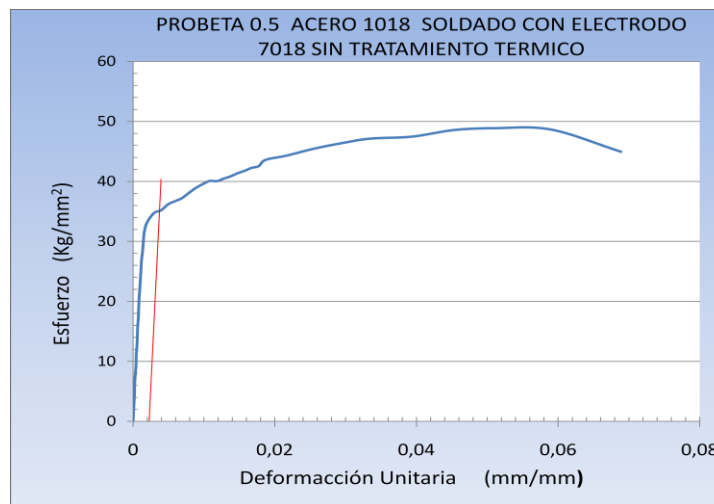


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	0.5	Tratamiento Térmico:	Sin tratamiento
Temperatura de Tratamiento Térmico:	-----	Tiempo de Tratamiento Térmico:	-----
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	05/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	6190 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	54.8 mm	Deformación Máxima:	4.0 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.8 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	48.86 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	35 Kg/mm ²
% de Elongación:	7.87%	% de Reducción de Área:	27.68%
Módulo de Elasticidad:	20816 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

4.2.2.2.- ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO.



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

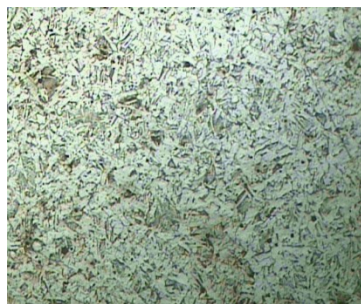
Tratamiento Térmico:	Sin tratamiento	Temperatura de Tratamiento Térmico	-----
Tiempo de Tratamiento Térmico:	-----	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	0.6
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 0.6
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	25/06/2012
Normas aplicables:	ASTM E 3:01 , ASTM E112:96		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

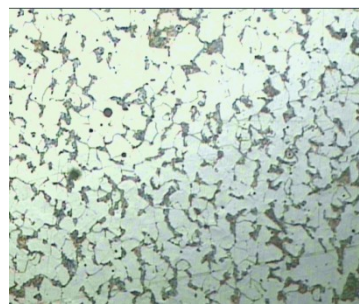
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	45 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	7 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO E 7018 SIN TRATAMIENTO TÉRMICO



Soldadura



ZAT

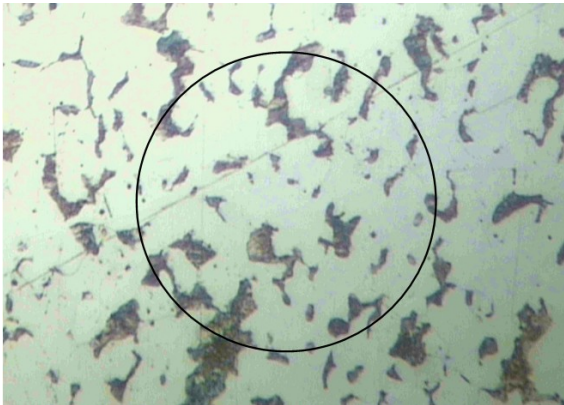


Material Base

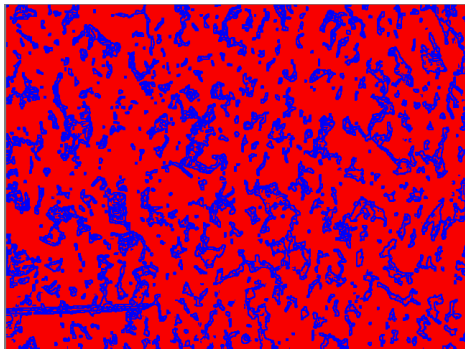
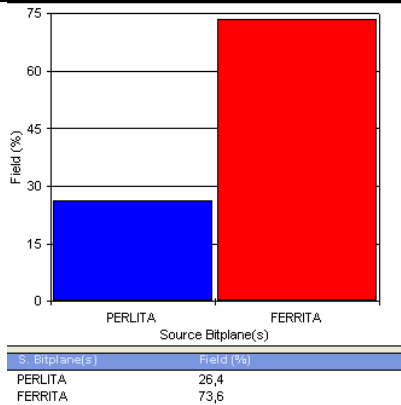
JUNTA SOLDADA SIN TRATAMIENTO TERMICO 100X 7 seg. Nital 4



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Temperatura de recocido: Sin tratamiento		Tiempo de recocido: Sin tratamiento	
Determinación del tamaño de grano:		Microestructura: Metal Base	
Método :	ASTM E 112:96	Magnificación : 200x	
Cálculo:			
$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(29 + \frac{13}{2} \right)$			
$f = 8 \text{ por Jeffries (200x)}$			
$NA = 8 * 35.5 = 284$			
$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$			
$G = 3,321918 * \log(284) - 2.954 = 5.19$			
Tamaño de grano ASTM:	5.19 \cong 5		

Componentes: Ferrita y Perlita

Componentes microestructurales: 100x	Porcentajes:						
	 <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PERLITA</td> <td>26,4</td> </tr> <tr> <td>FERRITA</td> <td>73,6</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	PERLITA	26,4	FERRITA	73,6
S. Bitplane(s)	Field (%)						
PERLITA	26,4						
FERRITA	73,6						

Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS 7018 sin tratamiento térmico, se puede indicar que los componentes de material base son: 73.6% de Ferrita y 26.4% de Perlita.

El tamaño de grano es 5.19

Observaciones:



EVALUACIÓN MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Temperatura de recocido: Sin tratamiento **Tiempo de recocido:** Sin tratamiento

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** ZAT

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

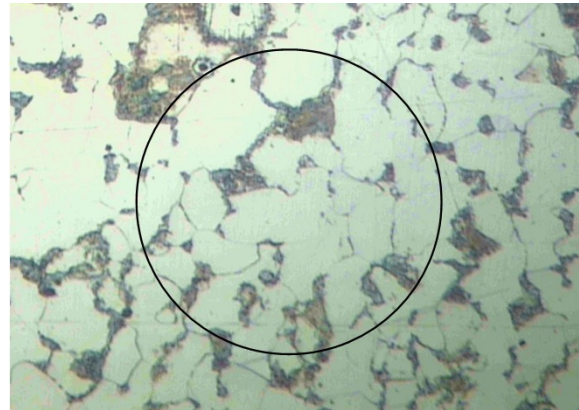
$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} \right) = 8 \left(21 + \frac{20}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 31 = 248$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(248) - 2.954 = 5.00$$

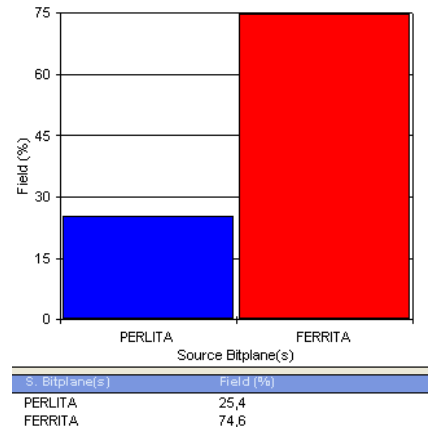
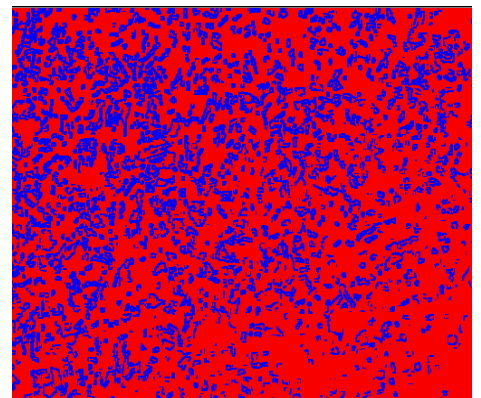


Tamaño de grano ASTM: 5.00 \cong 5

Componentes: Ferrita y Perlita deformadas.

Componentes microestructurales: 100x

Porcentajes:



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS 7018 sin tratamiento térmico, se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 74.6% de Ferrita y 25.4% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es 5.00

Observaciones:



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Temperatura de recocido: Sin tratamiento **Tiempo de recocido:** Sin tratamiento

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Depósito de Soldadura

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

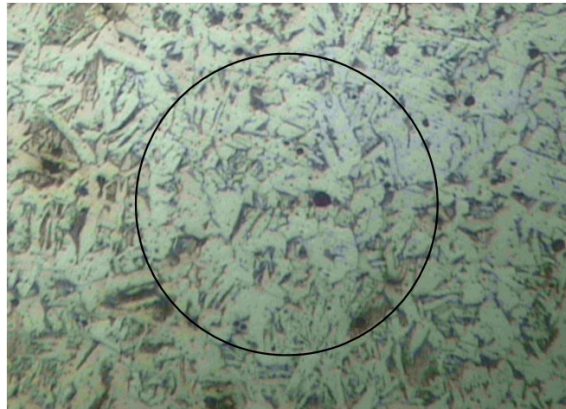
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(115 + \frac{49}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 139.5 = 1116$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(1116) - 2.954 = 7.17$$

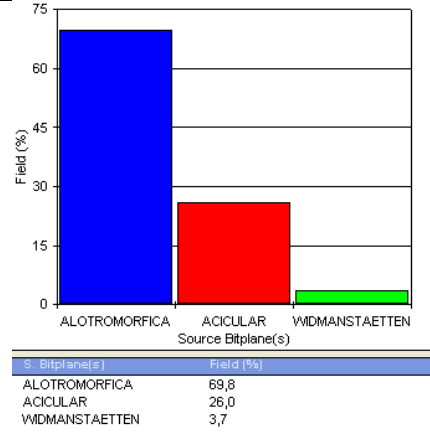
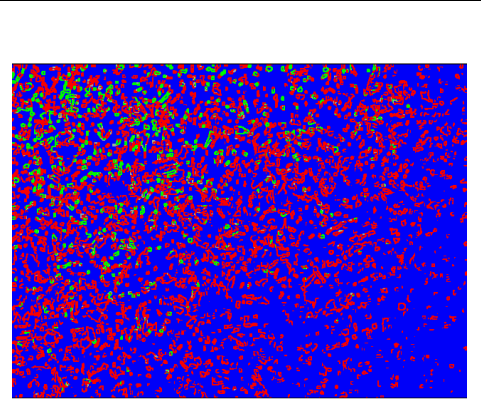


Tamaño de grano ASTM: 7.17 ≈ 7

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (α), Ferrita Acicular ($\alpha\alpha$), Ferrita de Widmanstaetten (αw)

Componentes microestructurales: 100x

Porcentajes:





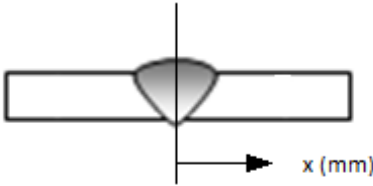
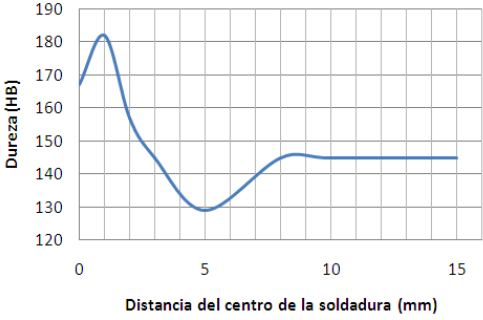
Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 sin tratamiento térmico, se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 69.8% de Ferrita Alotriomórfica (α), 26 % de Ferrita Acicular ($\alpha\alpha$), y 3.7% de Ferrita de Widmanstaetten (αw).



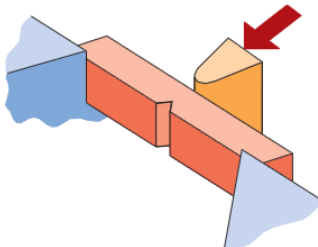
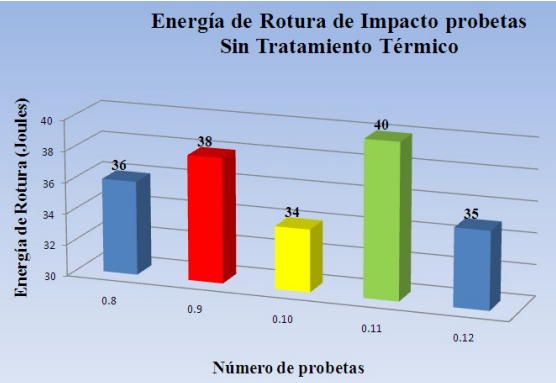
El tamaño de grano es 7.17

Observaciones:

4.2.2.3.-ENSAYO DE DUREZA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos:			
Tratamiento Térmico:	Sin tratamiento	Temperatura de Tratamiento Térmico	-----
Tiempo de Tratamiento Térmico:	-----	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	0.7
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	26/06/2012
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	Brinell	Norma Aplicable:	E 10:01
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min
RESULTADO			
		DUREZA SIN TRATAMIENTO TERMICO 	
N°	Distancia desde el centro (mm)	Ø Identación (mm)	Dureza (HB)
1	0	1.16	167
2	1	1.115	182
3	2	1.195	157
4	3	1.24	145
5	5	1.31	129
6	8	1.24	145
7	10	1.24	145
8	15	1.24	145
Interpretación de Resultados:			
<p>Para una probeta sin tratamiento térmico se tiene una dureza máxima de 182 HB a 1 mm de distancia del centro de la soldadura y una dureza mínima de 129 HB a 5 mm de distancia del centro de la soldadura.</p>			
OBSERVACIONES:			

4.2.2.4.- ENSAYO DE IMPACTO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

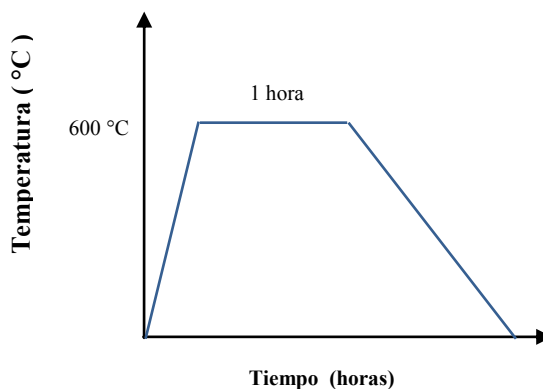
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
		ENSAYO DE IMPACTO		
Datos Informativos:				
Tratamiento Térmico:	Sin tratamiento	Temperatura de Tratamiento Térmico	-----	
Tiempo de Tratamiento Térmico:	-----	Realizado por:	Ing. Henry Vaca	
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	0.8-0.9-0.10-0.11-0.12	
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	01/10/2012	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO				
DESCRIPCIÓN:				
Método:	Charpy	Norma Aplicable:	ASTM E 23:02	
Temperatura:	21 °C	Tiempo de ensayo	1 min.	
RESULTADO				
				
N°	N° de probeta	Energía de Impacto (Joules)		
1	0.8	36		
2	0.9	38		
3	0.10	34		
4	0.11	40		
5	0.12	35		
	Promedio	36,6		
Interpretación de Resultados:				
<p>Para una probeta sin tratamiento térmico el promedio de la energía de impacto se encuentra en 36.6 Joules. El mayor valor registrado es 40 J. , el menor valor es 34 J.</p>				
OBSERVACIONES:				

4.2.3.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 1 HORA



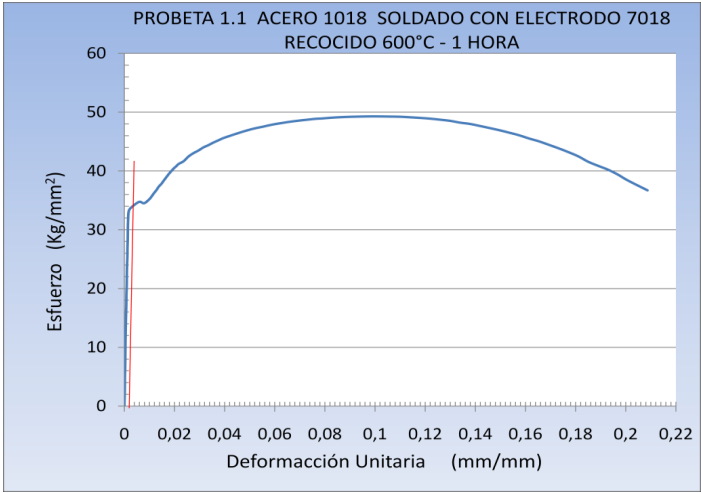
 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p> 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por:		Ing. H. Vaca	Realizado por:
			Ing. H. Vaca
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-UTA –FICM	Fecha de ejecución:	07/06/2012
Temperatura ambiente del lugar:	21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	RECOCIDO	Temperatura de Recocido:	600 °C	Tiempo de Permanencia en el Horno	1 hora
Tipo de enfriamiento	Enfriamiento Lento		Medio de enfriamiento	Aire en el Horno	
Especificación Material Base	Acero		Especificación Material de aporte	Electrodo de acero al carbono	
Tipo o grado:	AISI 1018		Tipo	AWS – E 7018	
Diámetro:	3/4"		Diámetro	1/8"	
Características:	Eje		Normativa	AWS A 5.1	

DETALLE



4.2.3.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 1 HORA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
PROBETA #	1.1	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	07/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”
RESULTADOS:			
GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN 			
RESULTADOS REGISTRADOS			
Carga Máxima:	6242 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62 mm	Deformación Máxima:	11.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10 mm
RESULTADOS CALCULADOS			
Resistencia a la Tracción (Sut):	49.27 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	34.1 Kg/mm ²
% de Elongación:	22.05%	% de Reducción de Área:	38%
Módulo de Elasticidad:	21509 Kg/mm ²		
OBSERVACIONES:			

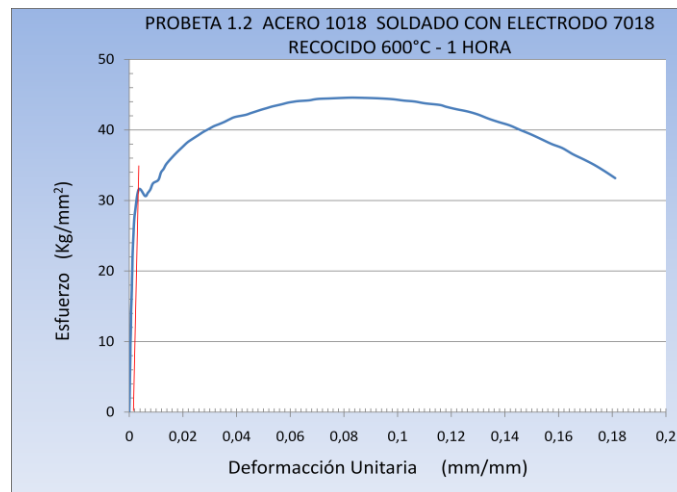


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	1.2	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	07/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5646 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	60.5 mm	Deformación Máxima:	9.7 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.5 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	44.57 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	32 Kg/mm ²
% de Elongación:	19.09%	% de Reducción de Área:	31.64%
Módulo de Elasticidad:	20786 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

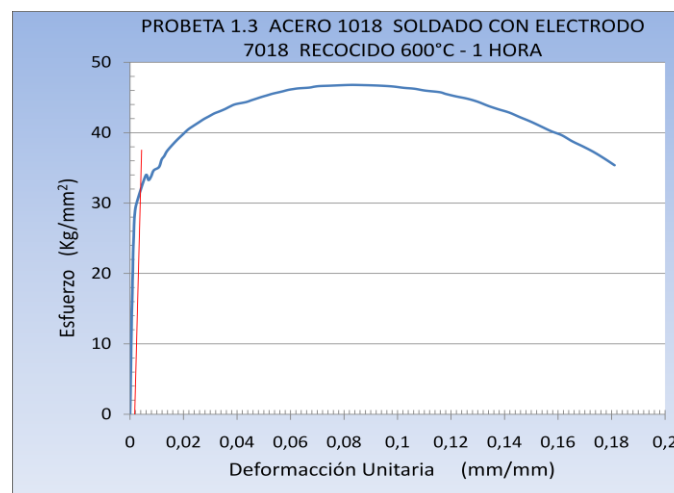


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	1.3	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	08/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5926 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	61 mm	Deformación Máxima:	10.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.4 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	46.78 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	32 Kg/mm ²
% de Elongación:	20.08%	% de Reducción de Área:	32.94%
Módulo de Elasticidad:	20252 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

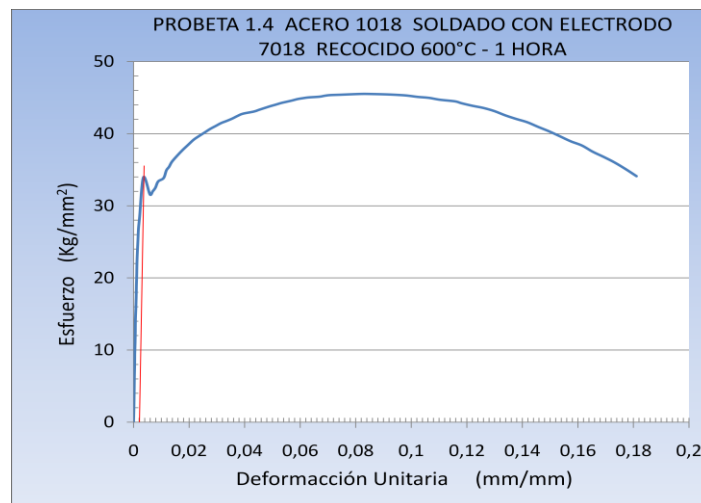


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	1.4	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	08/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5766 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62 mm	Deformación Máxima:	11.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	45.52 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	34 Kg/mm ²
% de Elongación:	22.05%	% de Reducción de Área:	38%
Módulo de Elasticidad:	20161 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

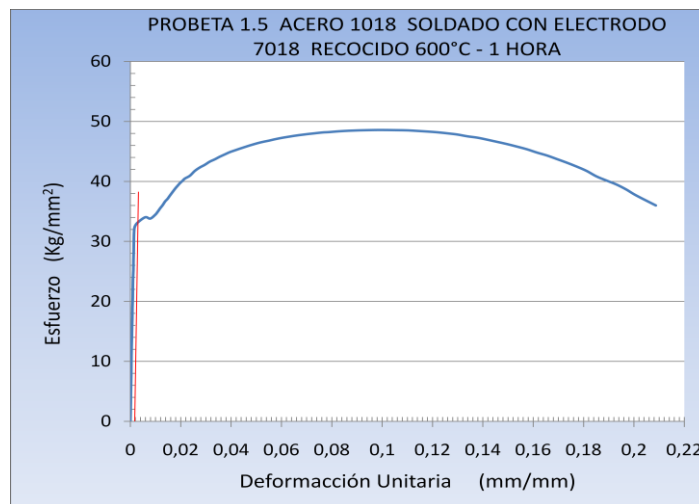


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	1.5	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	11/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	6152 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62.5 mm	Deformación Máxima:	11.7 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.5 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	48.56 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	34 Kg/mm ²
% de Elongación:	23.03%	% de Reducción de Área:	31.64%
Módulo de Elasticidad:	21556 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

4.2.3.2.- ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 1 HORA



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

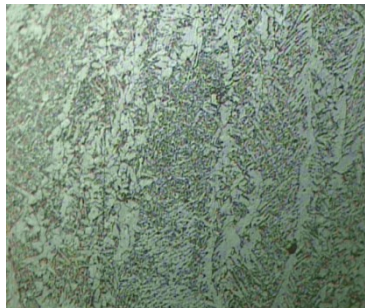
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	600°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	1.6
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 1.6
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	25/06/2012
Normas aplicables:	ASTM E 3:01, ASTM E 112:96		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

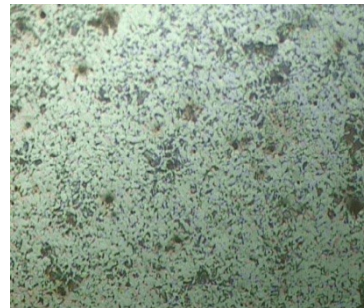
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	45 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	7 seg

RESULTADO:

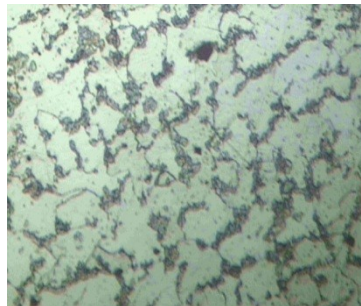
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO E 7018 RECOCIDO A 600 °C DURANTE UNA HORA



Soldadura



ZAT



Material Base

JUNTA SOLDADA RECOCIDA A 600° C 1h 100X 7 seg. Nital 4



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Temperatura de recocido: 600°C **Tiempo de recocido:** 1 hora

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Metal Base

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :**200x

Cálculo:

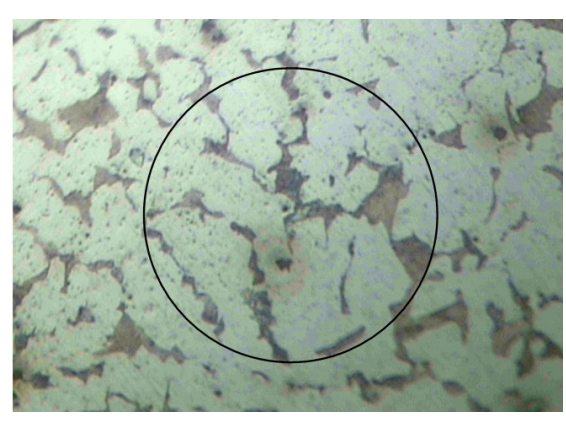
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(23 + \frac{7}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 26.5 = 212$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

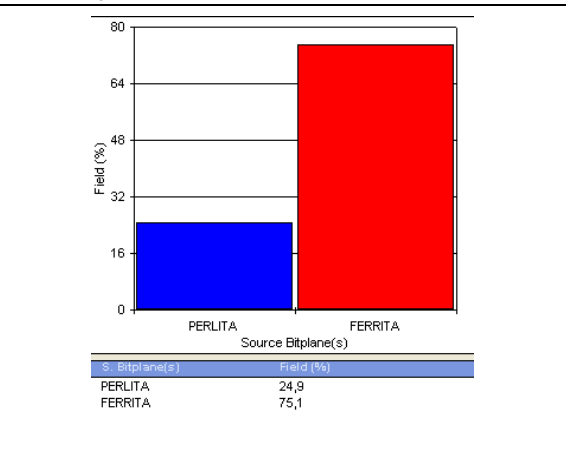
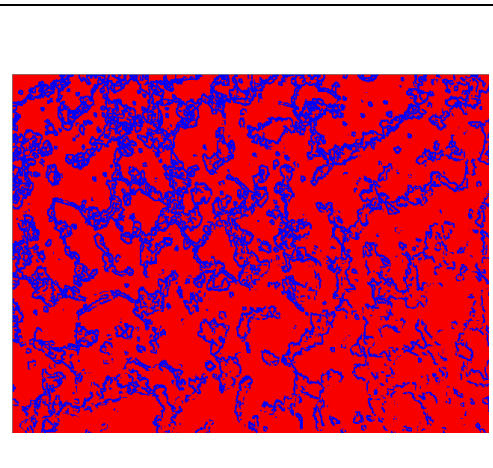
$$G = 3,321918 * \log(212) - 2.954 = 4.77$$



Tamaño de granoASTM: 4.77 \cong 5

Componentes: Ferrita y Perlita

Componentes microestructurales:100x **Porcentajes:**



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 600 °C por una hora , se puede indicar que los componentes de material base son: 75.1% de Ferrita y 24.9% de Perlita.

El tamaño de grano es 4.77

Observaciones:



EVALUACIÓN MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Temperatura de recocido: 600°C **Tiempo de recocido:** 1 hora

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** ZAT

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

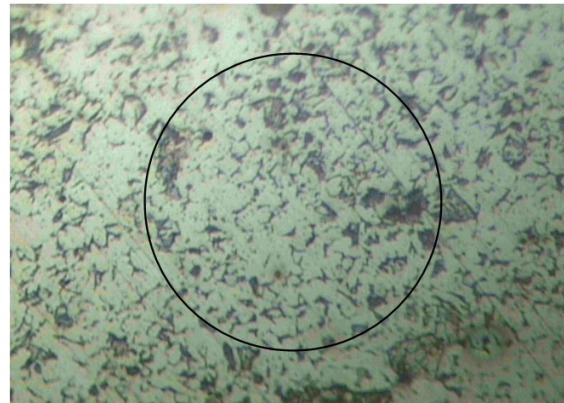
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(59 + \frac{29}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 73.5 = 588$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

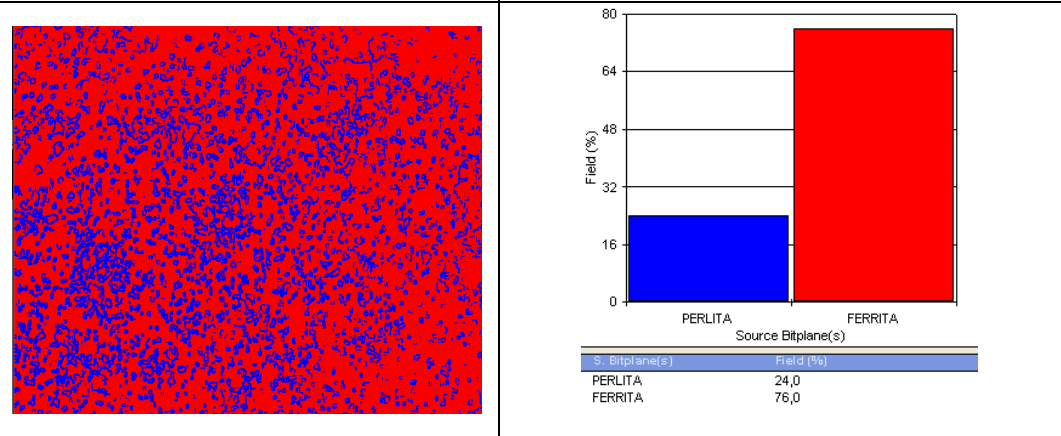
$$G = 3,321918 * \log(588) - 2.954 = 6.24$$



Tamaño de grano ASTM: 6.24 ≈ 6

Componentes: Ferrita y Perlita deformada.

Componentes microestructurales: 100x **Porcentajes:**



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 600 °C por una hora , se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 76% de Ferrita y 24% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es 6.24

Observaciones:



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPOSITO DE SOLDADURA

Temperatura de recocido: 600°C **Tiempo de recocido:** 1 hora

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Depósito de Soldadura

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(78 + \frac{15}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 85.5 = 684$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

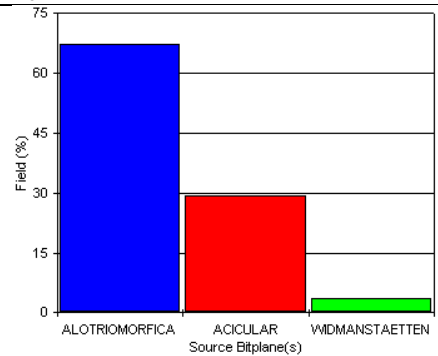
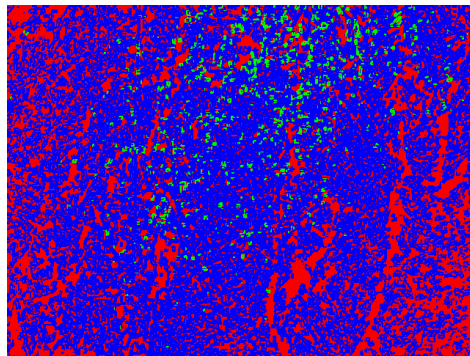
$$G = 3,321918 * \log(684) - 2.954 = 6.46$$



Tamaño de grano ASTM: 6.46 \cong 6.5

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (α), Ferrita Acicular (α_a), Ferrita de Widmanstaetten (α_w)

Componentes microestructurales: 100x **Porcentajes:**



S. Bitplane(s)	Field (%)
ALOTRIOMORFICA	67,2
ACICULAR	29,4
WIDMANSTAETTEN	3,4



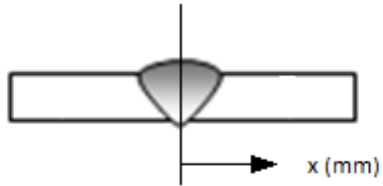
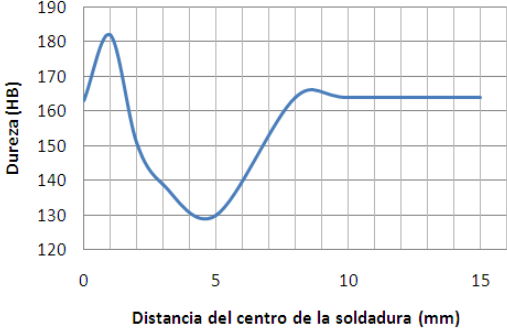
Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 600 °C por una hora, se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 67.2% de Ferrita Alotriomórfica (α), 29.4 % de Ferrita Acicular (α_a), y 3.4% de Ferrita de Widmanstaetten (α_w).



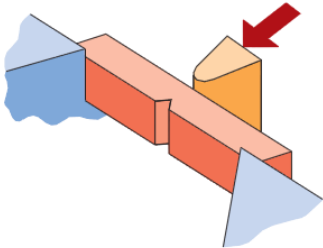
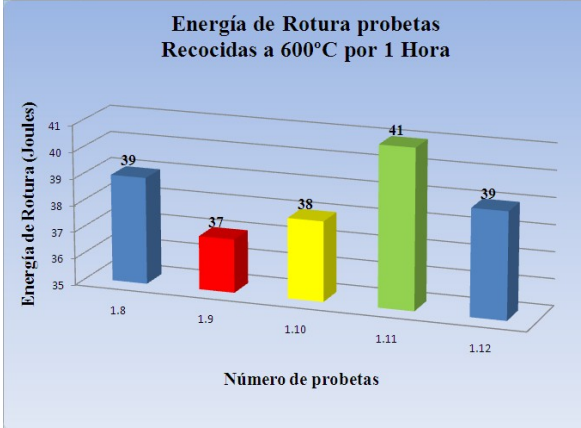
El tamaño de grano es 6.46

Observaciones:

4.2.3.3.- ENSAYO DE DUREZA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 1 HORA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																																							
ENSAYO DE DUREZA																																									
Datos Informativos:																																									
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	600°C																																						
Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora	Realizado por:	Ing. Henry Vaca																																						
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	1.7																																						
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	26/06/2012																																						
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM																																							
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca																																						
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																																									
DESCRIPCIÓN:																																									
Método:	Brinell	Norma Aplicable:	E 10:01																																						
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm																																								
Carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min																																						
RESULTADO																																									
				DUREZA RECOCIDO 600°C 1 HORA																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Distancia desde el centro (mm)</th> <th>Ø Identación (mm)</th> <th>Dureza (HB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1.175</td><td>163</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>1.115</td><td>182</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>1.2175</td><td>151</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td><td>1.265</td><td>139</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>1.3025</td><td>130</td></tr> <tr><td>6</td><td>8</td><td>1.1725</td><td>164</td></tr> <tr><td>7</td><td>10</td><td>1.1725</td><td>164</td></tr> <tr><td>8</td><td>15</td><td>1.1725</td><td>164</td></tr> </tbody> </table>				N°	Distancia desde el centro (mm)	Ø Identación (mm)	Dureza (HB)	1	0	1.175	163	2	1	1.115	182	3	2	1.2175	151	4	3	1.265	139	5	5	1.3025	130	6	8	1.1725	164	7	10	1.1725	164	8	15	1.1725	164		
N°	Distancia desde el centro (mm)	Ø Identación (mm)	Dureza (HB)																																						
1	0	1.175	163																																						
2	1	1.115	182																																						
3	2	1.2175	151																																						
4	3	1.265	139																																						
5	5	1.3025	130																																						
6	8	1.1725	164																																						
7	10	1.1725	164																																						
8	15	1.1725	164																																						
Interpretación de Resultados:																																									
La dureza para una probeta recocida a 600 °C por una hora tiene una dureza máxima de 182 HB a 1 mm de distancia del centro de la soldadura y una dureza mínima de 130 HB a 5 mm de distancia del centro de la soldadura.																																									
OBSERVACIONES:																																									

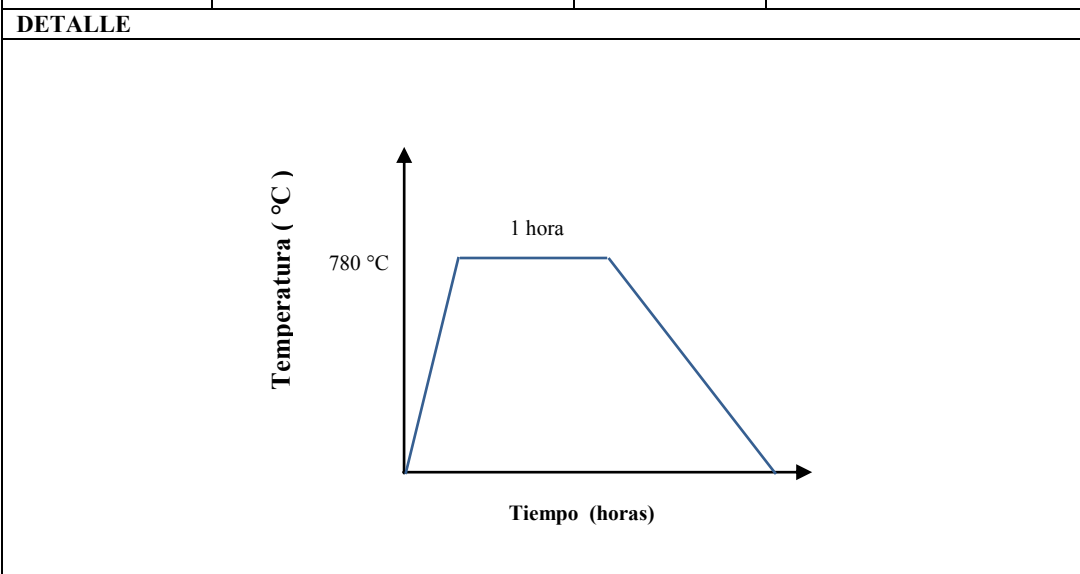
4.2.3.4.- ENSAYO DE IMPACTO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 1 HORA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE IMPACTO					
Datos Informativos:					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	600°C		
Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora	Realizado por:	Ing. Henry Vaca		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	1.8-1.9-1.10-1.11-1.12		
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	01/10/2012		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM			
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO					
DESCRIPCIÓN:					
Método:	Charpy	Norma Aplicable:	ASTM E 23:02		
Temperatura:	21 °C	Tiempo de ensayo	1 min.		
RESULTADO					
					
N°	N° de probeta	Energía de Impacto (Joules)			
1	1.8	39			
2	1.9	37			
3	1.10	38			
4	1.11	41			
5	1.12	39			
	Promedio	38.8			
Interpretación de Resultados:					
<p>Para una probeta sin tratamiento térmico el promedio de la energía de impacto se encuentra en 38.8 Joules. El mayor valor registrado es 41 J. , el menor valor es 37 J.</p>					
OBSERVACIONES:					



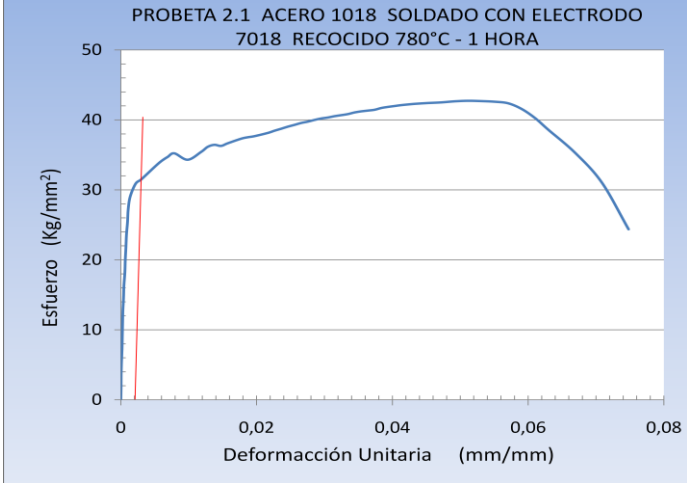
4.2.4.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 1 HORA

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p> 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por:		Ing. H. Vaca	Realizado por:
			Ing. H. Vaca
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-UTA –FICM	Fecha de ejecución:	11/06/2012
Temperatura ambiente del lugar:	21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	RECOCIDO	Temperatura de Recocido:	780 °C	Tiempo de Permanencia en el Horno	1 hora
Tipo de enfriamiento	Enfriamiento Lento		Medio de enfriamiento	Aire en el Horno	
Especificación Material Base	Acero		Especificación Material de aporte	Electrodo de acero al carbono	
Tipo o grado:	AISI 1018		Tipo	AWS – E 7018	
Diámetro:	3/4"		Diámetro	1/8"	
Características:	Eje		Normativa	AWS A 5.1	



4.2.4.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 1 HORA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
PROBETA #	2.1	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	11/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"
RESULTADOS:			
GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN 			
RESULTADOS REGISTRADOS			
Carga Máxima:	5413 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62.6 mm	Deformación Máxima:	11.8 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10 mm
RESULTADOS CALCULADOS			
Resistencia a la Tracción (Sut):	42.73 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	31 Kg/mm ²
% de Elongación:	23.23%	% de Reducción de Área:	38%
Módulo de Elasticidad:	18944 Kg/mm ²		
OBSERVACIONES:			

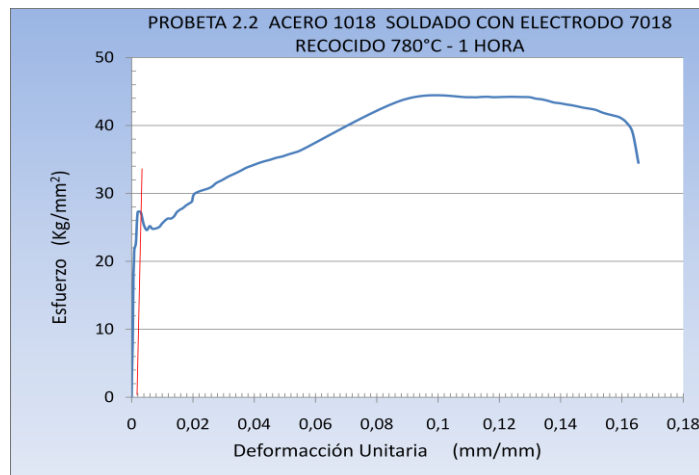


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	2.2	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	12/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5601 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	61 mm	Deformación Máxima:	9.7 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	44.21 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	27.5 Kg/mm ²
% de Elongación:	20.08%	% de Reducción de Área:	38%
Módulo de Elasticidad:	22736 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

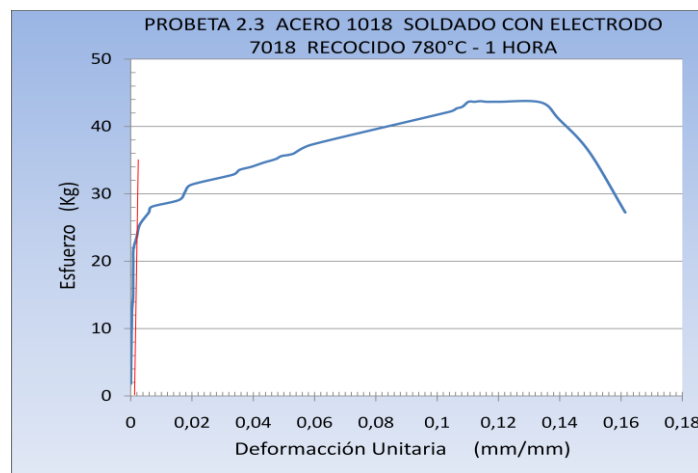


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	2.3	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	12/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5543 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62 mm	Deformación Máxima:	11.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	43.76 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	25 Kg/mm ²
% de Elongación:	22.05%	% de Reducción de Área:	38%
Módulo de Elasticidad:	19589 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

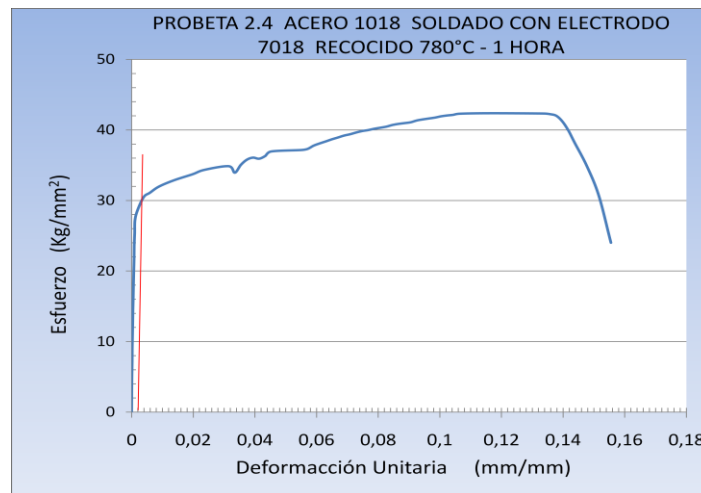


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	2.4	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	13/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5367 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	61 mm	Deformación Máxima:	10.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	11 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	42.37 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	30 Kg/mm ²
% de Elongación:	20.08%	% de Reducción de Área:	24.98%
Módulo de Elasticidad:	20989 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

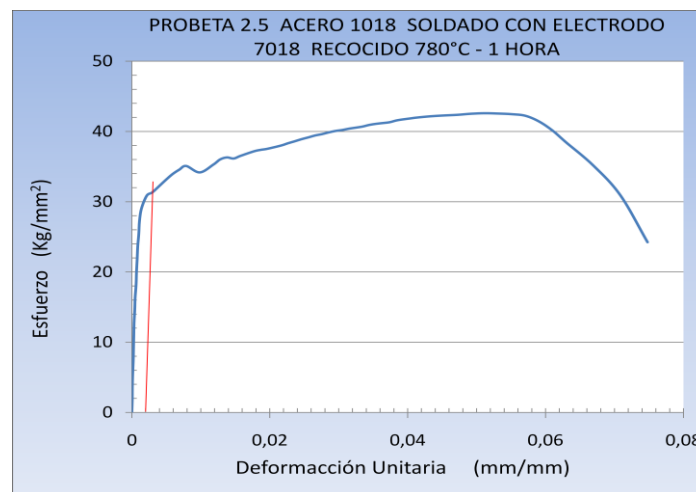


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	2.5	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	13/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5396 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62.5 mm	Deformación Máxima:	11.7 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	42.59 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	31.5 Kg/mm ²
% de Elongación:	23.03%	% de Reducción de Área:	38%
Módulo de Elasticidad:	21695 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

4.2.4.2.- ENSAYO METALOGRÁFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 1 HORA



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

Datos Informativos:

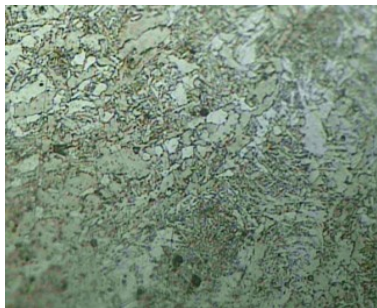
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	780°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	2.6
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 2.6
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	25/06/2012
Normas aplicables:	ASTM E 3:01, ASTM E 112:96		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

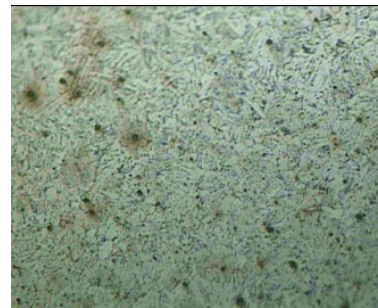
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	45 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	7 seg

RESULTADO:

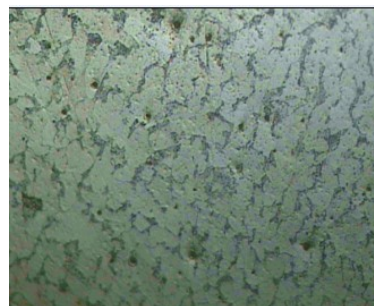
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO E 7018 RECOCIDO A 780 °C DURANTE UNA HORA



Soldadura



ZAT



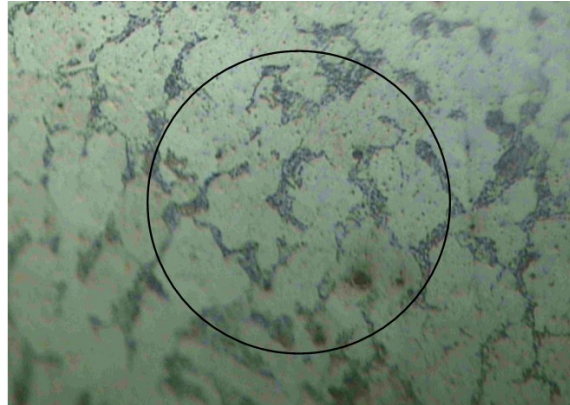
Material Base

JUNTA SOLDADA RECOCIDA A 780° C 1h 100X 7 seg. Nital 4



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

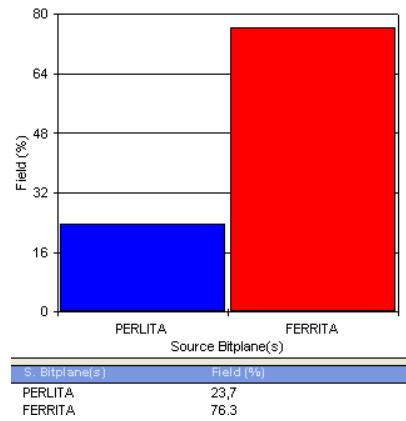
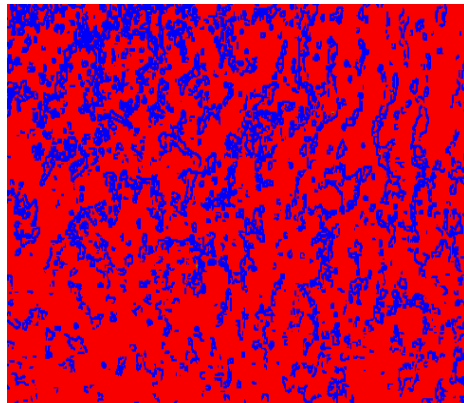
Temperatura de recocido: 780°C	Tiempo de recocido: 1 hora
Determinación del tamaño de grano:	Microestructura: Metal Base
Método : ASTM E 112:96	Magnificación : 200x
Cálculo:	
$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(23 + \frac{15}{2} \right)$ <p>$f = 8$ por Jeffries (200x)</p> <p>$NA = 8 * 30.5 = 244$</p> <p>$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$</p> <p>$G = 3,321918 * \log(244) - 2.954 = 4.98$</p>	
Tamaño de grano ASTM:	4.98 \cong 5



Componentes: Ferrita y Perlita

Componentes microestructurales:100x

Porcentajes:



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 780 °C por una hora , se puede indicar que los componentes de material base son: 76.3% de Ferrita y 23.7% de Perlita.

El tamaño de grano es 4.98

Observaciones:



EVALUACIÓN MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Temperatura de recocido: 780°C **Tiempo de recocido:** 1 hora

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** ZAT

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :**200x

Cálculo:

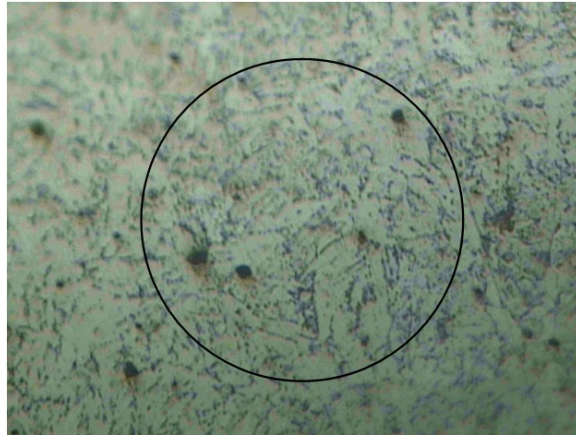
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(177 + \frac{43}{2} \right)$$

$f = 8$ por *Jeffries* (200x)

$NA = 8 * 198.5 = 1588$

$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$

$G = 3,321918 * \log(1588) - 2.954 = 7.68$

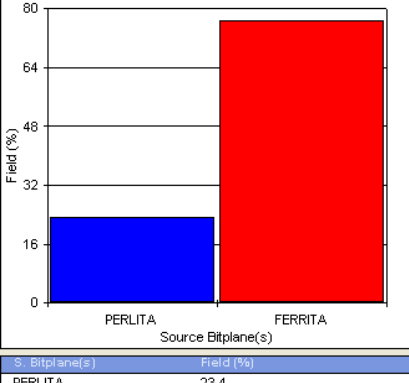
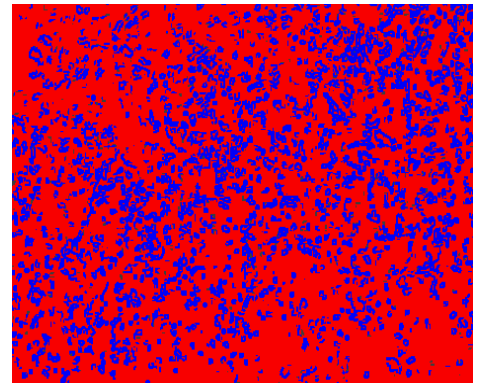


Tamaño de grano ASTM: 7.68 ≅ 8

Componentes: Ferrita y Perlita deformadas.

Componentes microestructurales:100x

Porcentajes:



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 780 °C por una hora , se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 76.6% de Ferrita y 23.4% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es 7.68

Observaciones:



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Temperatura de recocido: 780°C **Tiempo de recocido:** 1 hora

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Depósito de Soldadura

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :**200x

Cálculo:

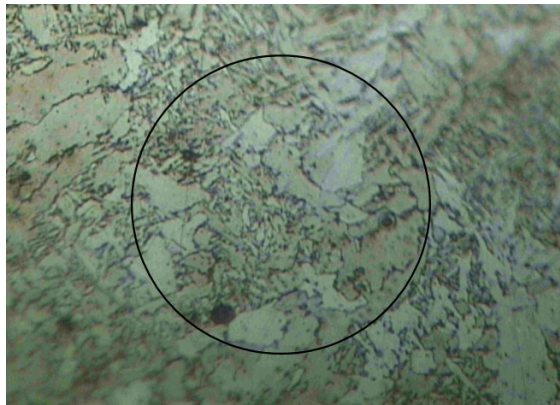
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(236 + \frac{52}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 262 = 2096$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(2096) - 2.954 = 8.08$$

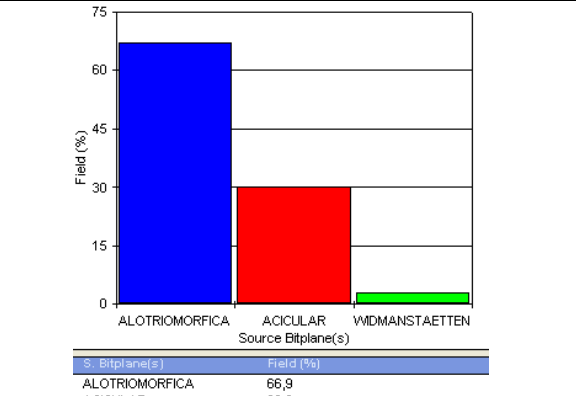
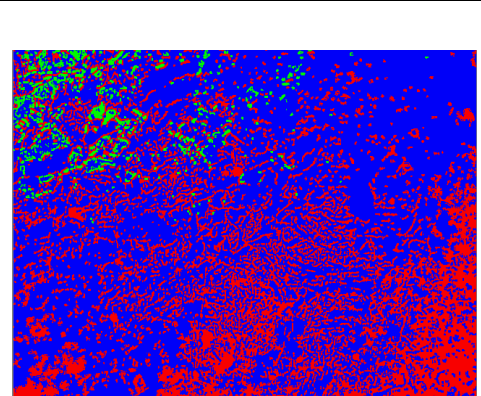


Tamaño de grano ASTM: 8.08 \cong 8

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (α), Ferrita Acicular ($\alpha\alpha$), Ferrita de Widmanstaetten (αw)

Componentes microestructurales:100x

Porcentajes:





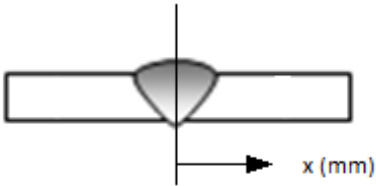
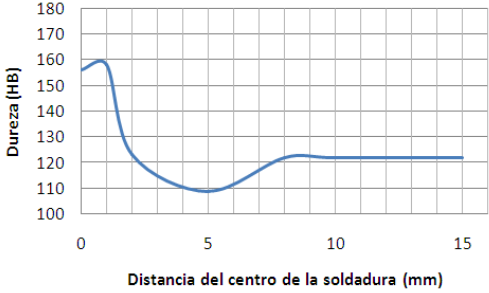
Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 780°C por una hora , se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 66.9% de Ferrita Alotriomórfica (α), 29.9 % de Ferrita Acicular ($\alpha\alpha$), y 3.1% de Ferrita de Widmanstaetten (αw).



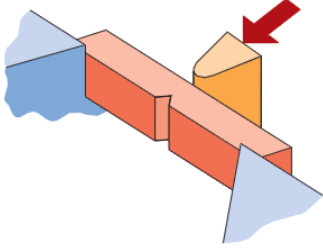
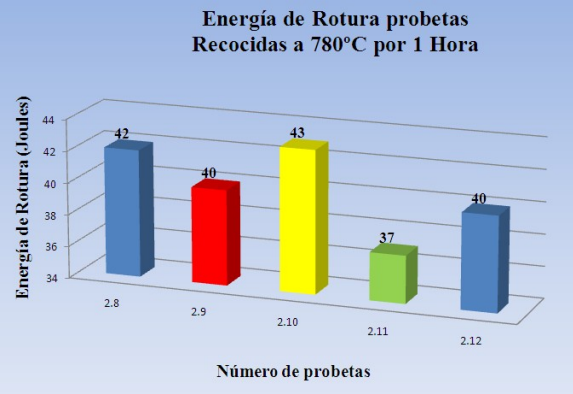
El tamaño de grano es 8.08

Observaciones:

4.2.4.3.- ENSAYO DE DUREZA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 1 HORA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA					
Datos Informativos:					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	780°C		
Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora	Realizado por:	Ing. Henry Vaca		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	2.7		
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	26/06/2012		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM			
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
DESCRIPCIÓN:					
Método:	Brinell	Norma Aplicable:	E 10:01		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm				
Carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min		
RESULTADO					
				DUREZA RECOCIDO 780°C 1 HORA	
N°	Distancia desde el centro (mm)	Ø Identación (mm)	Dureza (HB)		
1	0	1.198	156		
2	1	1.19	158		
3	2	1.338	123		
4	5	1.415	109		
5	8	1.345	122		
6	10	1.345	122		
7	15	1.345	122		
Interpretación de Resultados:					
La dureza para una probeta recocida a 780 °C por una hora tiene una dureza máxima de 158 HB a 1 mm de distancia del centro de la soldadura y una dureza mínima de 109 HB a 5 mm de distancia del centro de la soldadura.					
OBSERVACIONES:					

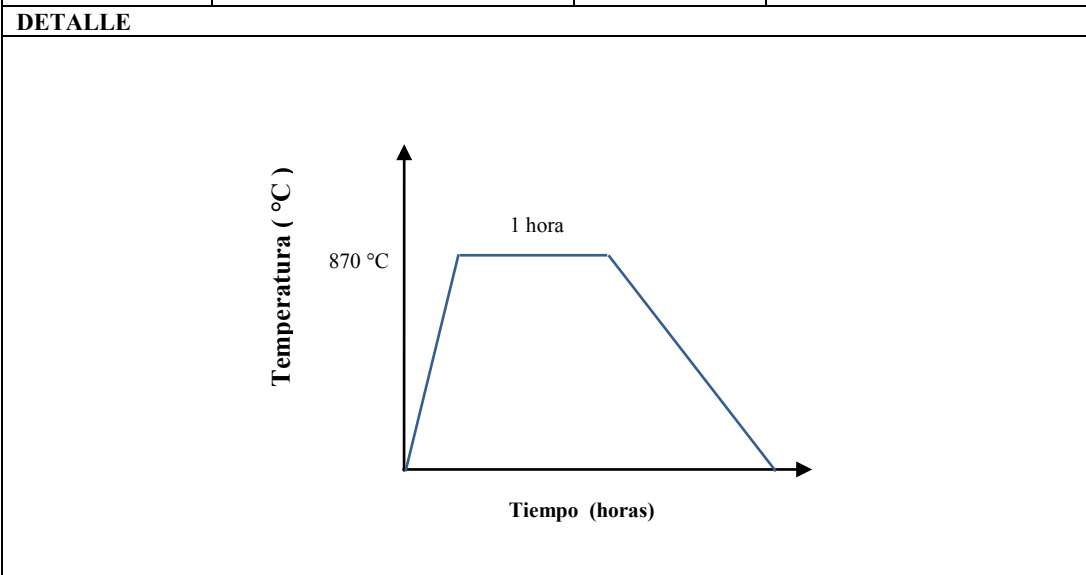
4.2.4.4.- ENSAYO DE IMPACTO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 1 HORA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE IMPACTO			
Datos Informativos:			
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	780°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	2.8-2.9-2.10-2.11-2.12
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	01/10/2012
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	Charpy	Norma Aplicable:	ASTM E 23:02
Temperatura:	21 °C	Tiempo de ensayo	1 min.
RESULTADO			
		 <p style="text-align: center;">Energía de Rotura probetas Recocidas a 780°C por 1 Hora</p>	
N°	N° de probeta	Energía de Impacto (Joules)	
1	2.8	42	
2	2.9	40	
3	2.10	43	
4	2.11	37	
5	2.12	40	
	Promedio	40.4	
Interpretación de Resultados:			
Para una probeta sin tratamiento térmico el promedio de la energía de impacto se encuentra en 40.4 Joules. El mayor valor registrado es 43 J. , el menor valor es 37 J.			
OBSERVACIONES:			



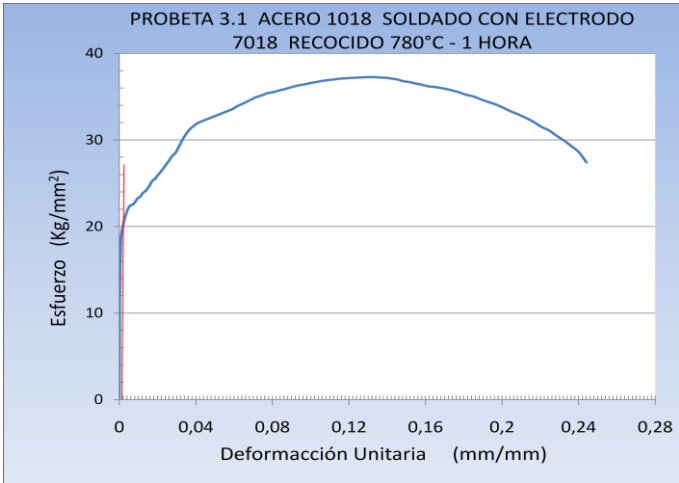
4.2.5.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 1 HORA

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p> 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por: Ing. H. Vaca		Ing. H. Vaca	Realizado por: Ing. H. Vaca
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-UTA –FICM	Fecha de ejecución:	14/06/2012
Temperatura ambiente del lugar:	21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	RECOCIDO	Temperatura de Recocido:	870 °C	Tiempo de Permanencia en el Horno	1 hora
Tipo de enfriamiento	Enfriamiento Lento		Medio de enfriamiento	Aire en el Horno	
Especificación Material Base	Acero		Especificación Material de aporte	Electrodo de acero al carbono	
Tipo o grado:	AISI 1018		Tipo	AWS – E 7018	
Diámetro:	3/4"		Diámetro	1/8"	
Características:	Eje		Normativa	AWS A 5.1	



4.2.5.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 1 HORA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
PROBETA #	3.1	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	14/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"
RESULTADOS:			
GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN 			
RESULTADOS REGISTRADOS			
Carga Máxima:	4721 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	64 mm	Deformación Máxima:	13.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8 mm
RESULTADOS CALCULADOS			
Resistencia a la Tracción (Sut):	37.27 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	20.5 Kg/mm ²
% de Elongación:	25.98%	% de Reducción de Área:	60.32%
Módulo de Elasticidad:	22041 Kg/mm ²		
OBSERVACIONES:			

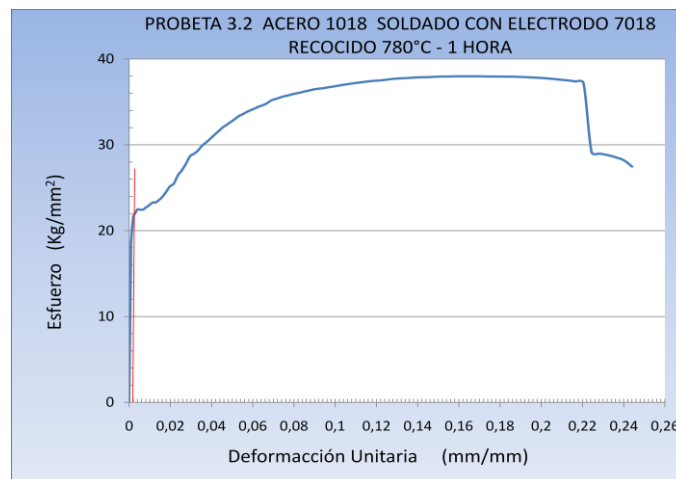


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	3.2	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	14/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	4812 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	64 mm	Deformación Máxima:	13.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	37.99 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	22 Kg/mm ²
% de Elongación:	25.98%	% de Reducción de Área:	60.32%
Módulo de Elasticidad:	20040 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

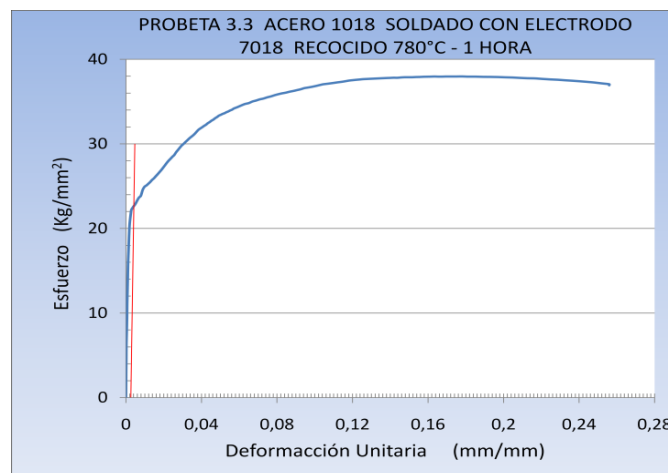


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	3.3	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	15/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	4811 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	66 mm	Deformación Máxima:	15.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	7.8 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	37.98 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	22 Kg/mm ²
% de Elongación:	29.92%	% de Reducción de Área:	62.28%
Módulo de Elasticidad:	20191 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

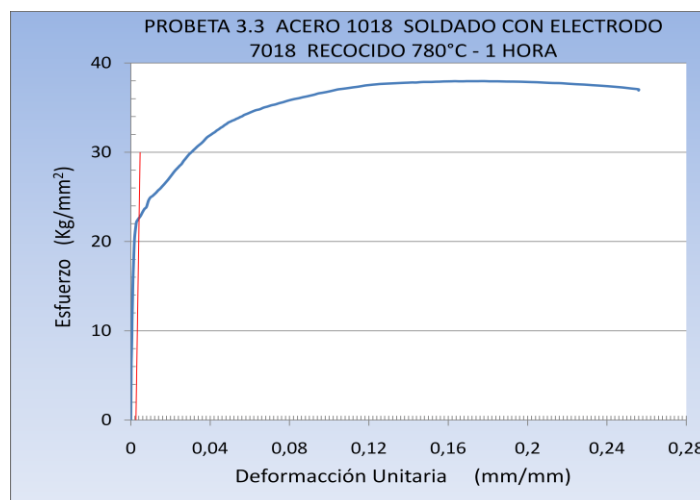


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	3.4	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	15/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	4661 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62 mm	Deformación Máxima:	11.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8.3 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	36.79 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	23 Kg/mm ²
% de Elongación:	22.05%	% de Reducción de Área:	57.29%
Módulo de Elasticidad:	20557 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

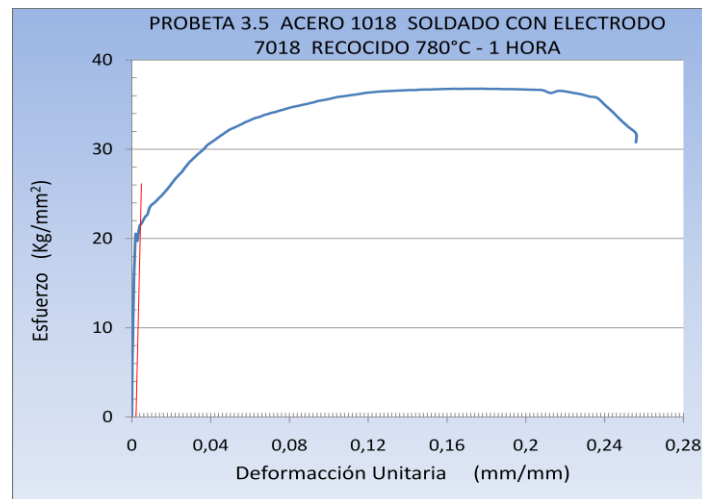


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	3.5	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	16/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	4661 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	64 mm	Deformación Máxima:	13.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	36.79 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	20.8 Kg/mm ²
% de Elongación:	25.98%	% de Reducción de Área:	60.32%
Módulo de Elasticidad:	20587 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

4.2.5.2.- ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 1 HORA



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

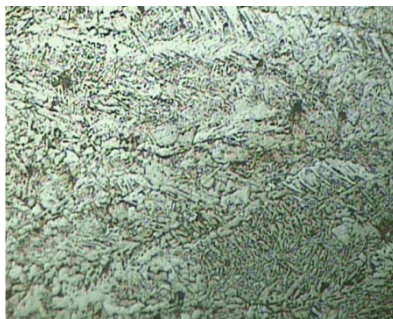
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	870°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	3.6
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 3.6
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	25/06/2012
Normas aplicables:	ASTM E 3:01, ASTM E 112:96		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

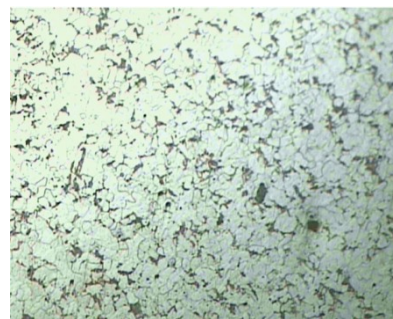
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	45 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	7 seg

RESULTADO:

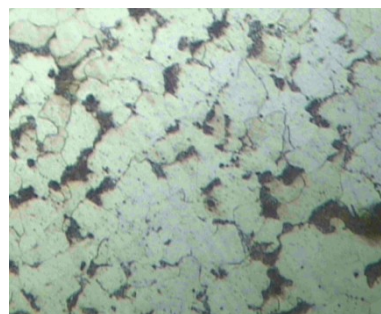
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO E 7018 RECOCIDO A 870 °C DURANTE UNA HORA



Soldadura



ZAT



Material Base

JUNTA SOLDADA RECOCIDA A 870° C 1h 100X 7 seg. Nital 4



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Temperatura de recocido: 870°C	Tiempo de recocido: 1 hora
---------------------------------------	-----------------------------------

Determinación del tamaño de grano:	Microestructura: Metal Base
---	------------------------------------

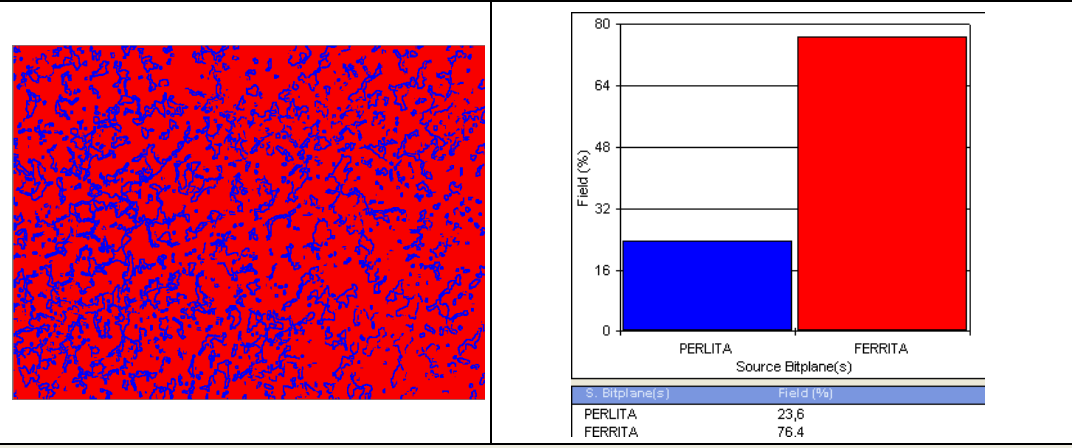
Método :	ASTM E 112:96	Magnificación : 200x
-----------------	---------------	-----------------------------

<p>Cálculo:</p> $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(37 + \frac{25}{2} \right)$ <p>$f = 8$ por Jeffries (200x)</p> <p>$NA = 8 * 49.5 = 396$</p> <p>$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$</p> <p>$G = 3,321918 * \log(396) - 2.954 = 5.67$</p>	
--	--

Tamaño de grano ASTM:	5.67 \cong 6
------------------------------	----------------

Componentes: Ferrita y Perlita

Componentes microestructurales: 100x	Porcentajes:
---	---------------------



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 870 °C por una hora , se puede indicar que los componentes de material base son: 76.4% de Ferrita y 23.6% de Perlita.

El tamaño de grano es 5.67

Observaciones:



EVALUACIÓN MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Temperatura de recocido: 870°C **Tiempo de recocido:** 1 hora

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** ZAT

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

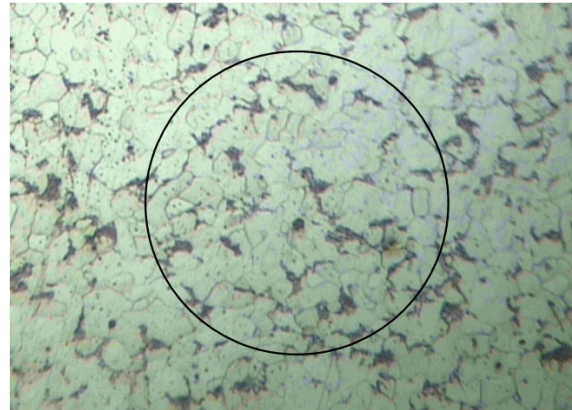
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(61 + \frac{27}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 74.5 = 596$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(596) - 2.954 = 6.26$$

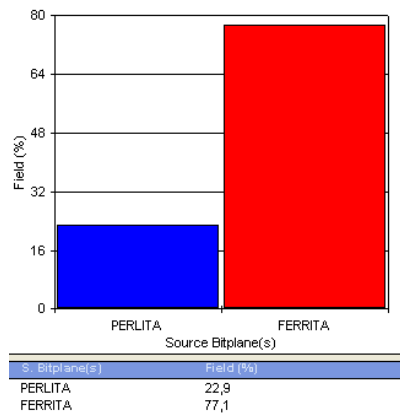
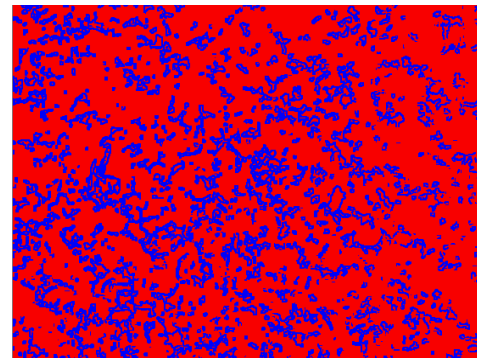


Tamaño de grano ASTM: 6.26 \cong 6

Componentes: Ferrita y Perlita deformadas.

Componentes microestructurales: 100x

Porcentajes:



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 870 °C por una hora, se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 77.1% de Ferrita y 22.9% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es 6.26

Observaciones:



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPOSITO DE SOLDADURA

Temperatura de recocido: 870°C **Tiempo de recocido:** 1 hora

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Depósito de Soldadura

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

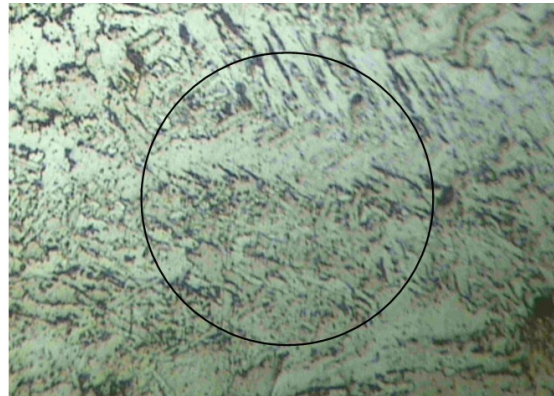
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(187 + \frac{54}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 214 = 1712$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

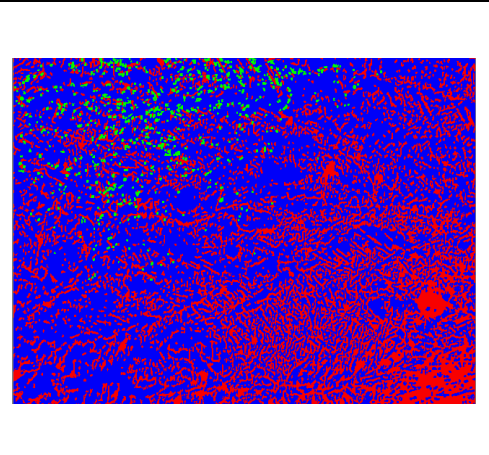
$$G = 3,321918 * \log(1712) - 2.954 = 7.79$$



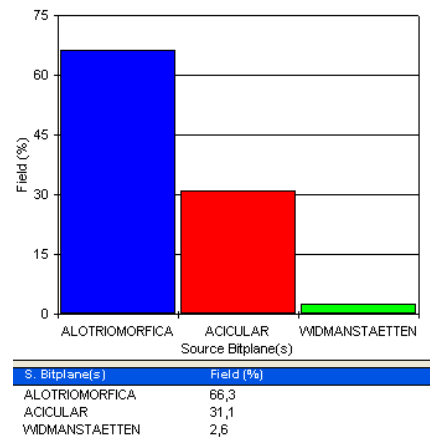
Tamaño de grano ASTM: 7.79 ≈ 8

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (α), Ferrita Acicular (α_a), Ferrita de Widmanstaetten (α_w)

Componentes microestructurales: 100x



Porcentajes:





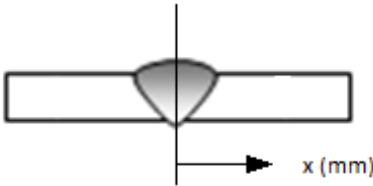

Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 870°C por una hora, se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 66.3% de Ferrita Alotriomórfica (α), 31.1 % de Ferrita Acicular (α_a), y 2.6% de Ferrita de Widmanstaetten (α_w).



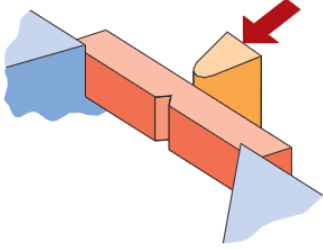
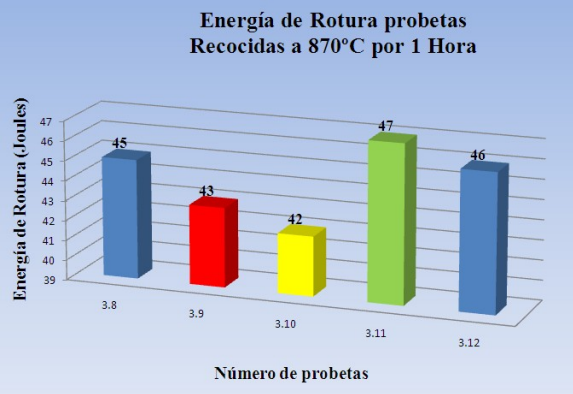
El tamaño de grano es 7.79

Observaciones:

4.2.5.3.- ENSAYO DE DUREZA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 1 HORA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos:			
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	870°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	3.7
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	26/06/2012
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	Brinell	Norma Aplicable:	E 10:01
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min
RESULTADO			
		DUREZA RECOCIDO 870°C 1 HORA 	
N°	Distancia desde el centro (mm)	Ø Identación (mm)	Dureza (HB)
1	0	1.355	120
2	1	1.335	124
3	2	1.385	114
4	3	1.385	114
5	5	1.415	109
6	8	1.405	110
7	10	1.405	110
8	15	1.405	110
Interpretación de Resultados:			
La dureza para una probeta recocida a 870 °C por una hora tiene una dureza máxima de 124 HB a 1 mm de distancia del centro de la soldadura y una dureza mínima de 109 HB a 5 mm de distancia del centro de la soldadura.			
OBSERVACIONES:			

4.2.5.4.- ENSAYO DE IMPACTO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 1 HORA

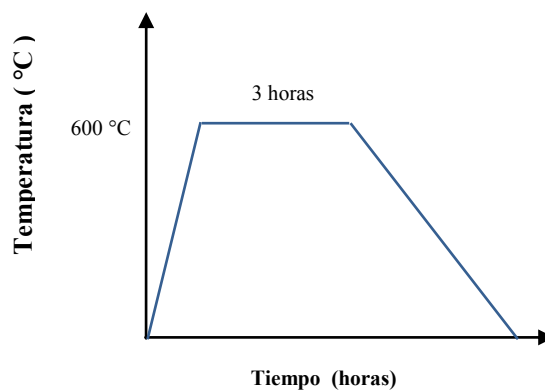
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE IMPACTO			
Datos Informativos:			
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	870°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	1 hora	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	3.8-3.9-3.10-3.11-3.12
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	01/10/2012
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	Charpy	Norma Aplicable:	ASTM E 23:02
Temperatura:	21 °C	Tiempo de ensayo	1 min.
RESULTADO			
		 <p style="text-align: center;">Energía de Rotura probetas Recocidas a 870°C por 1 Hora</p>	
N°	N° de probeta	Energía de Impacto (Joules)	
1	3.8	45	
2	3.9	43	
3	3.10	42	
4	3.11	47	
5	3.12	46	
	Promedio	44.6	
Interpretación de Resultados:			
Para una probeta sin tratamiento térmico el promedio de la energía de impacto se encuentra en 44.6 Joules. El mayor valor registrado es 47 J. , el menor valor es 42 J.			
OBSERVACIONES:			

4.2.6.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 3 HORAS



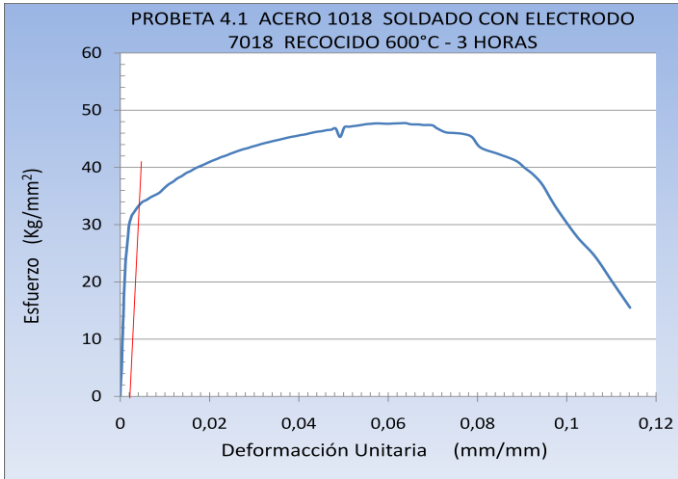
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por: Ing. H. Vaca		Ing. H. Vaca	Realizado por: Ing. H. Vaca
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-UTA –FICM	Fecha de ejecución:	14/06/2012
Temperatura ambiente del lugar:	21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	RECOCIDO	Temperatura de Recocido:	600 °C	Tiempo de Permanencia en el Horno	3 horas
Tipo de enfriamiento	Enfriamiento Lento		Medio de enfriamiento	Aire en el Horno	
Especificación Material Base	Acero		Especificación Material de aporte	Electrodo de acero al carbono	
Tipo o grado:	AISI 1018		Tipo	AWS – E 7018	
Diámetro:	3/4"		Diámetro	1/8"	
Características:	Eje		Normativa	AWS A 5.1	

DETALLE



4.2.6.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 3 HORAS

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
PROBETA #	4.1	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	14/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"
RESULTADOS:			
GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN 			
RESULTADOS REGISTRADOS			
Carga Máxima:	6047 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	61.7 mm	Deformación Máxima:	10.9 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.3 mm
RESULTADOS CALCULADOS			
Resistencia a la Tracción (Sut):	47.74 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	33 Kg/mm ²
% de Elongación:	21.46%	% de Reducción de Área:	34.22%
Módulo de Elasticidad:	20894 Kg/mm ²		
OBSERVACIONES:			

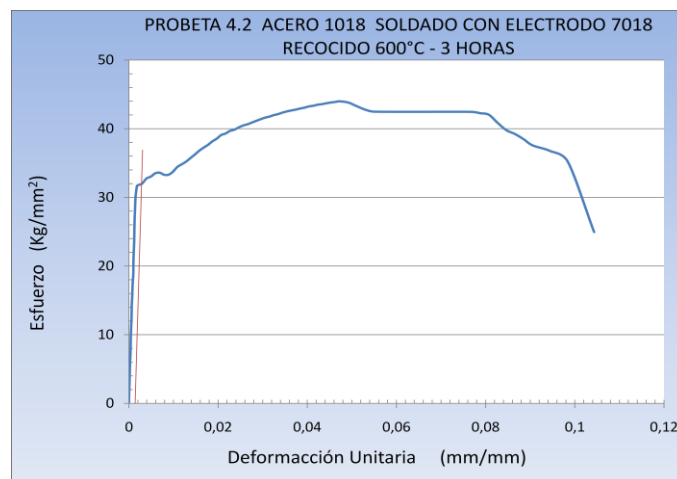


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	4.2	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	14/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5573 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	61.7 mm	Deformación Máxima:	10.9 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.3 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	43.99 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	32.10 Kg/mm ²
% de Elongación:	21.46%	% de Reducción de Área:	34.22%
Módulo de Elasticidad:	19969 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

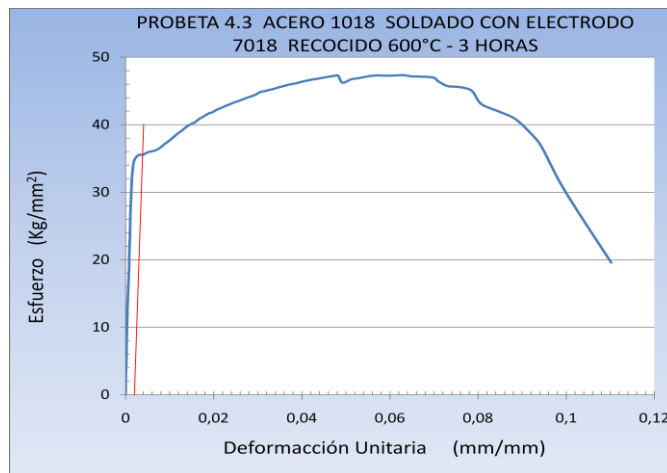


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	4.3	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	14/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5996 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62 mm	Deformación Máxima:	11.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.2 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	47.33 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	35.8 Kg/mm ²
% de Elongación:	22.05%	% de Reducción de Área:	35.5%
Módulo de Elasticidad:	22207 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

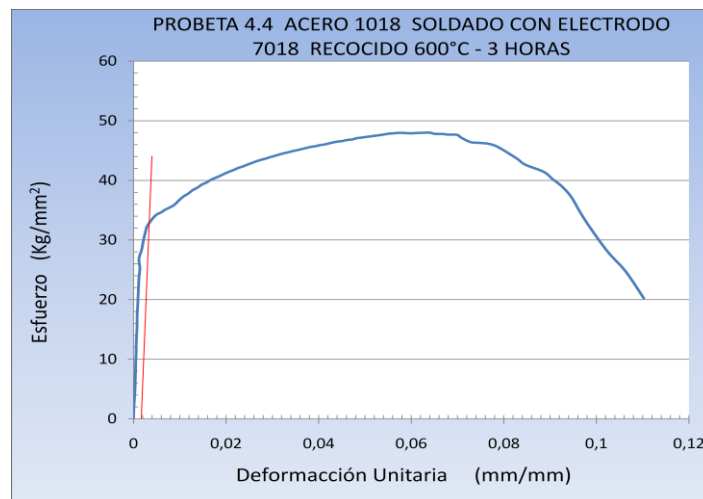


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	4.4	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	15/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	6082 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62 mm	Deformación Máxima:	11.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.3 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	48.01 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	33 Kg/mm ²
% de Elongación:	22.05%	% de Reducción de Área:	34.22%
Módulo de Elasticidad:	21128 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

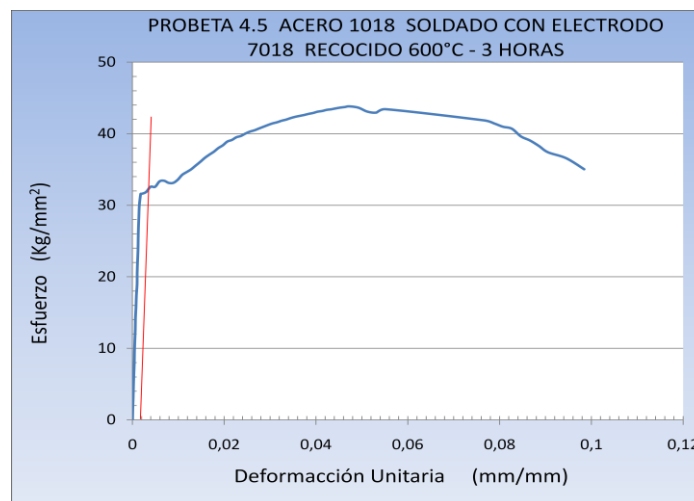


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	4.5	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	600 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	16//06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5550 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	62.5 mm	Deformación Máxima:	11.7 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	43.81 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	33 Kg/mm ²
% de Elongación:	23.03%	% de Reducción de Área:	38%
Módulo de Elasticidad:	19969 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

4.2.6.2.- ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 3 HORAS



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

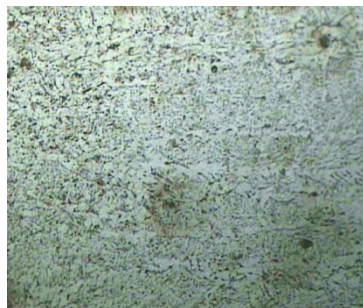
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	600°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	4.6
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 4.6
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	25/06/2012
Normas aplicables:	ASTM E 3:01, ASTM E 112:96		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

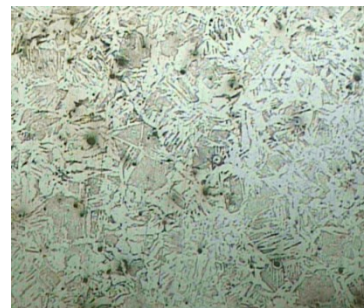
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	45 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	7 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO E 7018 RECOCIDO A 600 °C DURANTE TRES HORAS



Soldadura



ZAT



Material Base

JUNTA SOLDADA RECOCIDA A 600° C 3h 100X 7 seg. Nital 4



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Temperatura de recocido: 600°C **Tiempo de recocido:** 3 horas

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Metal Base

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :**200x

Cálculo:

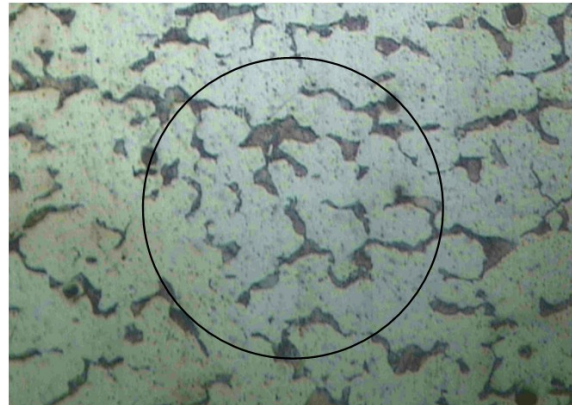
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(38 + \frac{18}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 47 = 376$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

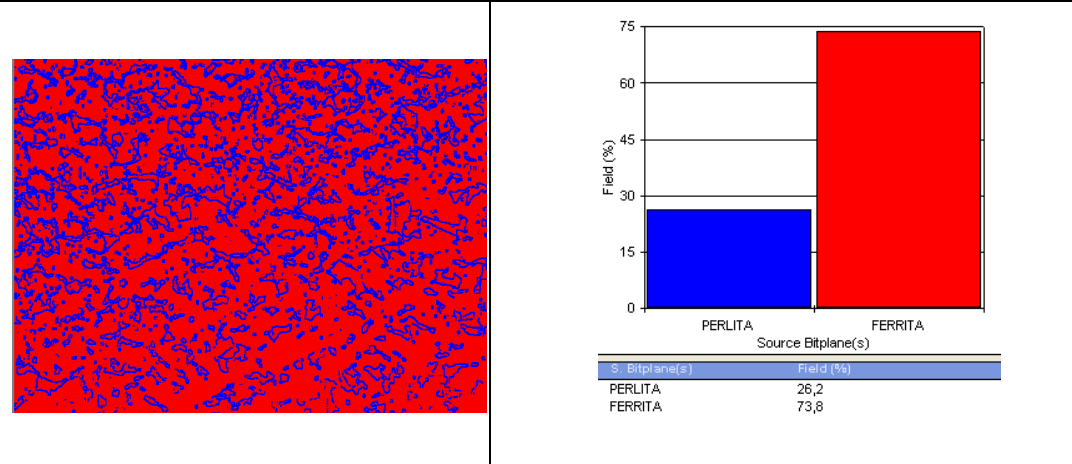
$$G = 3,321918 * \log(376) - 2.954 = 5.60$$



Tamaño de grano ASTM: 5,60 \cong 6

Componentes: Ferrita y Perlita

Componentes microestructurales:100x **Porcentajes:**



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 600 °C por tres hora , se puede indicar que los componentes de material base son: 73.8% de Ferrita y 26.2% de Perlita.

El tamaño de grano es 5.60

Observaciones:



EVALUACIÓN MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Temperatura de recocido: 600°C **Tiempo de recocido:** 3 horas

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** ZAT

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

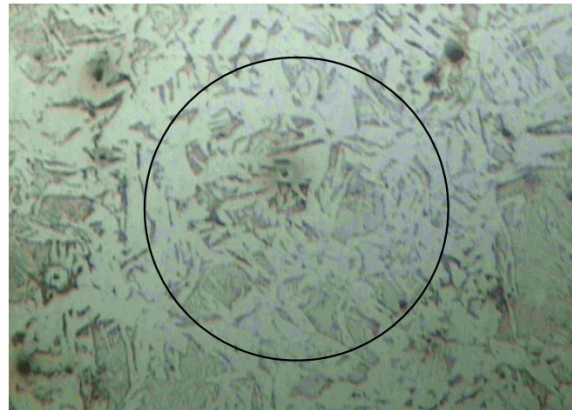
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(79 + \frac{27}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 92.5 = 740$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(740) - 2.954 = 6.58$$

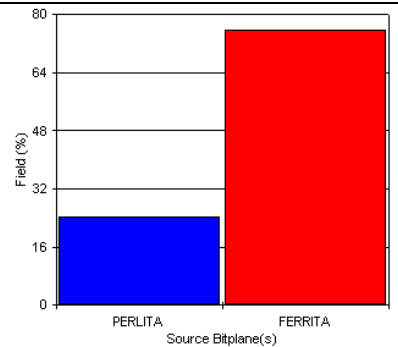
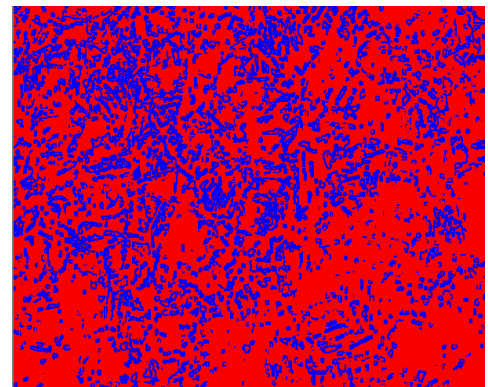


Tamaño de grano ASTM: 6.58 \cong 6.5

Componentes: Ferrita y Perlita deformadas.

Componentes microestructurales: 100x

Porcentajes:



Source Bitplane(s)	Field (%)
PERLITA	24,2
FERRITA	75,8

Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 600 °C por tres horas , se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 75.8% de Ferrita y 24.2% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es 6.58

Observaciones:



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Temperatura de recocido: 600°C **Tiempo de recocido:** 3 horas

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Depósito de Soldadura

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(285 + \frac{66}{2} \right)$$

f = 8 por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 318 = 2544$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

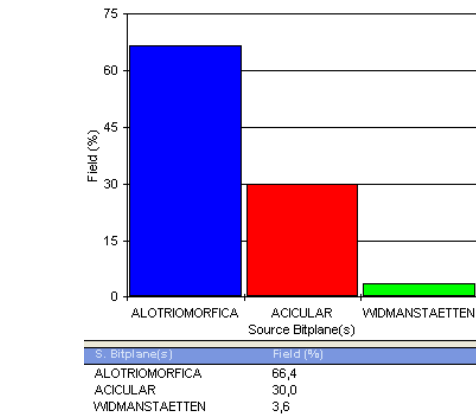
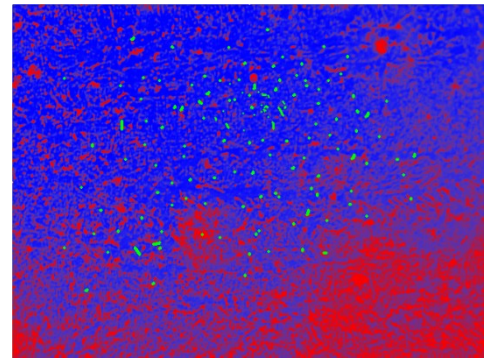
$$G = 3,321918 * \log(2544) - 2.954 = 8.36$$


Tamaño de grano ASTM: 8.36 \cong 8

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (α), Ferrita Acicular (α_a), Ferrita de Widmanstaetten (α_w)

Componentes microestructurales: 100x

Porcentajes:





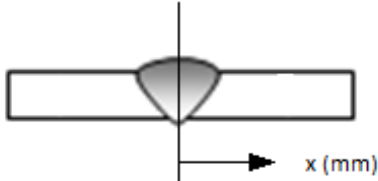
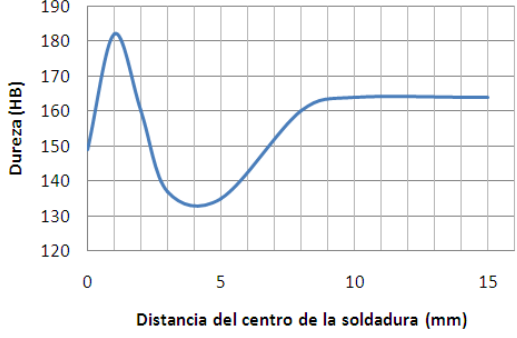
Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 600 °C por tres horas , se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 66.4% de Ferrita Alotriomórfica (α), 30.0 % de Ferrita Acicular (α_a), y 3.6% de Ferrita de Widmanstaetten (α_w).



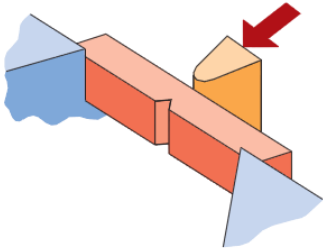
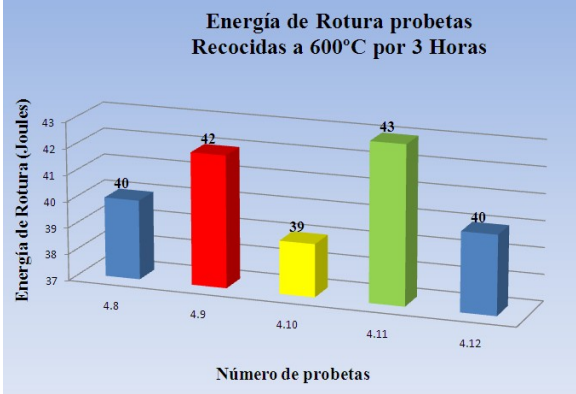
El tamaño de grano es 8.36

Observaciones:

4.2.6.3.- ENSAYO DE DUREZA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 3 HORAS

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																																							
ENSAYO DE DUREZA																																									
Datos Informativos:																																									
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	600°C																																						
Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas	Realizado por:	Ing. Henry Vaca																																						
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	4.7																																						
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	26/06/2012																																						
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM																																							
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca																																						
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																																									
DESCRIPCIÓN:																																									
Método:	Brinell	Norma Aplicable:	E 10:01																																						
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm																																								
Carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min																																						
RESULTADO																																									
				DUREZA RECOCIDO 600°C 3 HORAS																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº</th> <th>Distancia desde el centro (mm)</th> <th>Ø Identación (mm)</th> <th>Dureza (HB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1.225</td><td>149</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>1.115</td><td>182</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>1.185</td><td>160</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td><td>1.275</td><td>137</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>1.2825</td><td>135</td></tr> <tr><td>6</td><td>8</td><td>1.185</td><td>160</td></tr> <tr><td>7</td><td>10</td><td>1.1725</td><td>164</td></tr> <tr><td>8</td><td>15</td><td>1.1725</td><td>164</td></tr> </tbody> </table>				Nº	Distancia desde el centro (mm)	Ø Identación (mm)	Dureza (HB)	1	0	1.225	149	2	1	1.115	182	3	2	1.185	160	4	3	1.275	137	5	5	1.2825	135	6	8	1.185	160	7	10	1.1725	164	8	15	1.1725	164		
Nº	Distancia desde el centro (mm)	Ø Identación (mm)	Dureza (HB)																																						
1	0	1.225	149																																						
2	1	1.115	182																																						
3	2	1.185	160																																						
4	3	1.275	137																																						
5	5	1.2825	135																																						
6	8	1.185	160																																						
7	10	1.1725	164																																						
8	15	1.1725	164																																						
Interpretación de Resultados:																																									
<p>La dureza para una probeta recocida a 600 °C por tres horas tiene una dureza máxima de 182 HB a 1 mm de distancia del centro de la soldadura y una dureza mínima de 135 HB a 5 mm de distancia del centro de la soldadura.</p>																																									
OBSERVACIONES:																																									

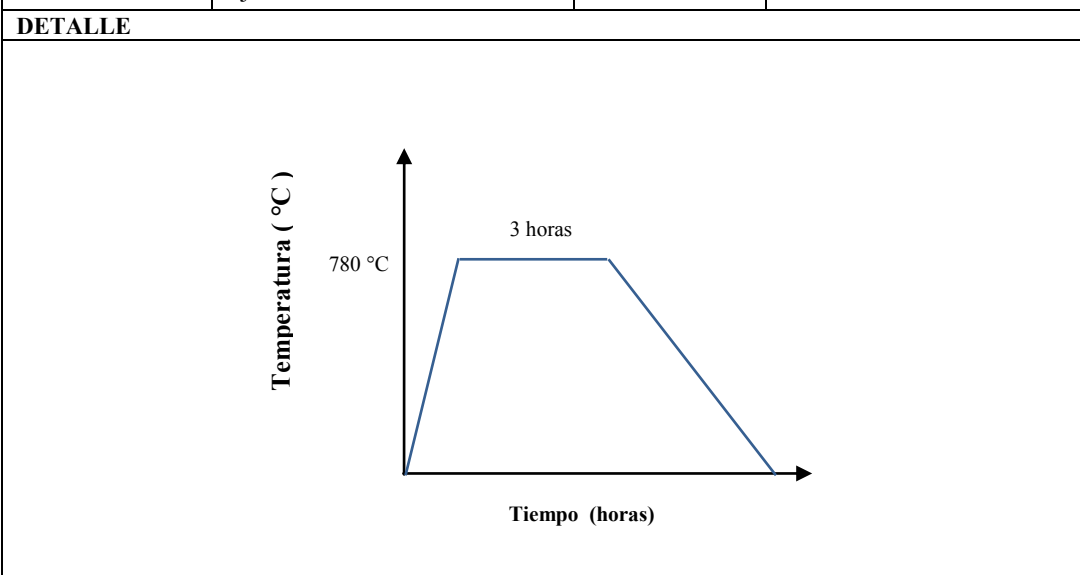
4.2.6.4.- ENSAYO DE IMPACTO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 600 °C POR 3 HORAS

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE IMPACTO					
Datos Informativos:					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	600°C		
Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas	Realizado por:	Ing. Henry Vaca		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	4.8-4.9-4.10-4.11-4.12		
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	01/10/2012		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM			
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO					
DESCRIPCIÓN:					
Método:	Charpy	Norma Aplicable:	ASTM E 23:02		
Temperatura:	21 °C	Tiempo de ensayo	1 min.		
RESULTADO					
					
N°	N° de probeta	Energía de Impacto (Joules)			
1	4.8	40			
2	4.9	42			
3	4.10	39			
4	4.11	43			
5	4.12	40			
	Promedio	40.8			
Interpretación de Resultados:					
<p>Para una probeta sin tratamiento térmico el promedio de la energía de impacto se encuentra en 40.8 Joules. El mayor valor registrado es 43 J. , el menor valor es 39 J.</p>					
OBSERVACIONES:					

4.2.7.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 3 HORAS

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p> 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por: Ing. H. Vaca		Ing. H. Vaca	Realizado por: Ing. H. Vaca
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-UTA –FICM	Fecha de ejecución:	20/06/2012
Temperatura ambiente del lugar:	21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	RECOCIDO	Temperatura de Recocido:	780 °C	Tiempo de Permanencia en el Horno	3 horas
Tipo de enfriamiento	Enfriamiento Lento		Medio de enfriamiento	Aire en el Horno	
Especificación Material Base	Acero		Especificación Material de aporte	Electrodo de acero al carbono	
Tipo o grado:	AISI 1018		Tipo	AWS – E 7018	
Diámetro:	3/4"		Diámetro	1/8"	
Características:	Eje		Normativa	AWS A 5.1	



4.2.7.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 3 HORAS

ENSAYO DE TRACCIÓN			
PROBETA #	5.1	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	21/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"
RESULTADOS:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN</p> <p style="text-align: center;">PROBETA 5.1 ACERO 1018 SOLDADO CON ELECTRODO 7018 RECOCIDO 600°C - 3 HORAS</p>			
RESULTADOS REGISTRADOS			
Carga Máxima:	5187 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	66.6 mm	Deformación Máxima:	15.8 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	9.0 mm
RESULTADOS CALCULADOS			
Resistencia a la Tracción (Sut):	40.95 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	28.5 Kg/mm ²
% de Elongación:	31.1%	% de Reducción de Área:	49.78%
Módulo de Elasticidad:	18925 Kg/mm ²		
OBSERVACIONES:			

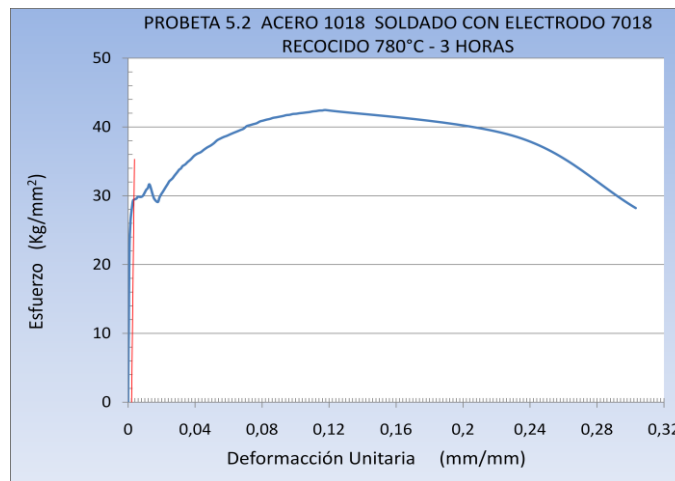


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	5.2	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	21/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5378 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	61 mm	Deformación Máxima:	10.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	10.7 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	42.45 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	29 Kg/mm ²
% de Elongación:	20.08%	% de Reducción de Área:	29.02%
Módulo de Elasticidad:	23887 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

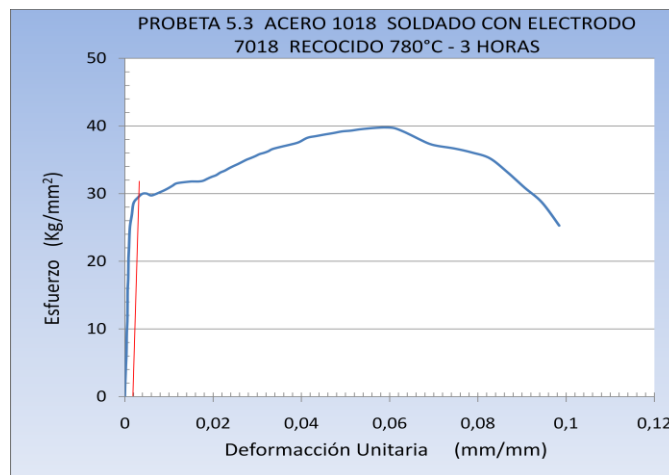


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	5.3	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	23/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5038 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	60 mm	Deformación Máxima:	9.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	11 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	39.77 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	30 Kg/mm ²
% de Elongación:	18.11%	% de Reducción de Área:	24.98%
Módulo de Elasticidad:	18033 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

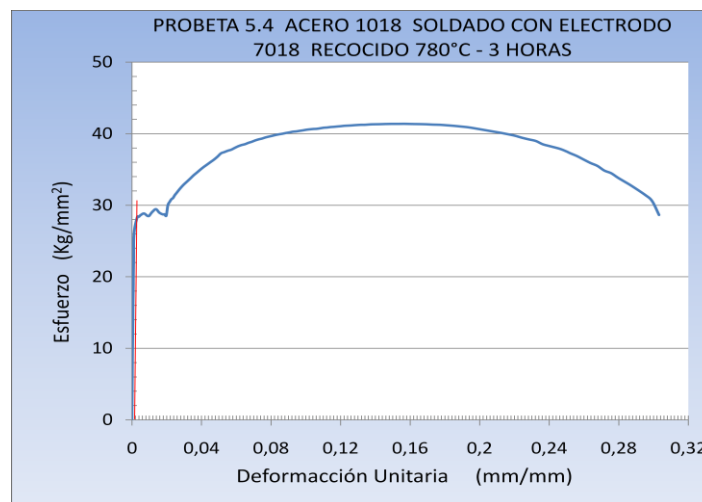


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	5.4	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	23/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5242 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	67 mm	Deformación Máxima:	16.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	41.38 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	28.20 Kg/mm ²
% de Elongación:	31.89%	% de Reducción de Área:	55.2%
Módulo de Elasticidad:	21079 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

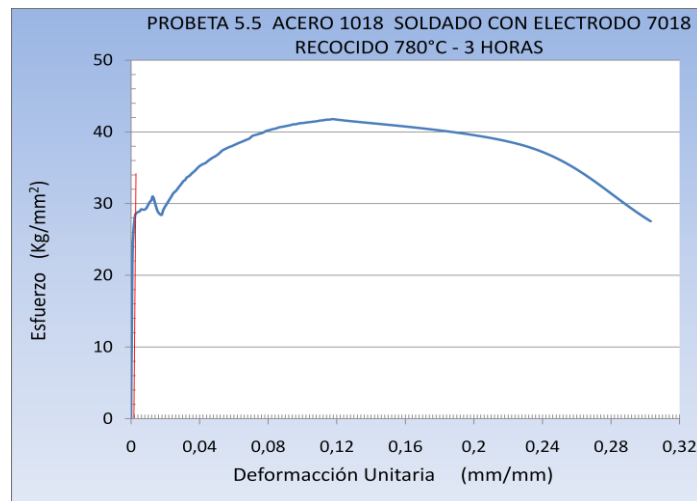


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	5.5	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	780 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	24//06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	5293 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	63 mm	Deformación Máxima:	12.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	9 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	41.78 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	28.8 Kg/mm ²
% de Elongación:	24.02%	% de Reducción de Área:	49.78%
Módulo de Elasticidad:	21814 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

4.2.7.2.- ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 3 HORAS



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	780°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	5.6
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 5.6
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	25/06/2012
Normas aplicables:	ASTM E 3:01, ASTM E 112:96		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	45 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	7 seg

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO E 7018 RECOCIDO A 780 °C DURANTE TRES HORAS



Soldadura



ZAT



Material Base

JUNTA SOLDADA RECOCIDA A 780° C 3h 100X 7 seg. Nital 4



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Temperatura de recocido: 780°C **Tiempo de recocido:** 3 horas

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Metal Base

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :**200x

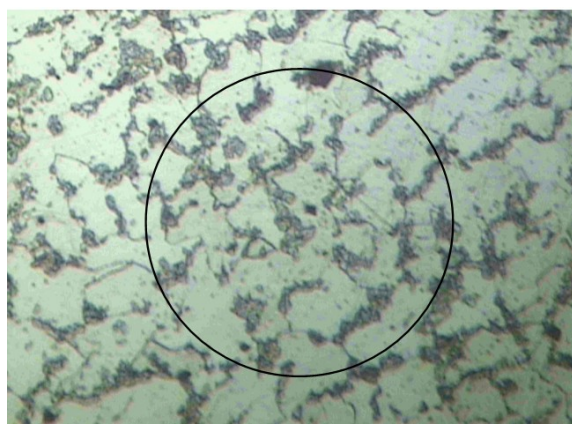
Cálculo:

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(67 + \frac{27}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 80.5 = 644$$

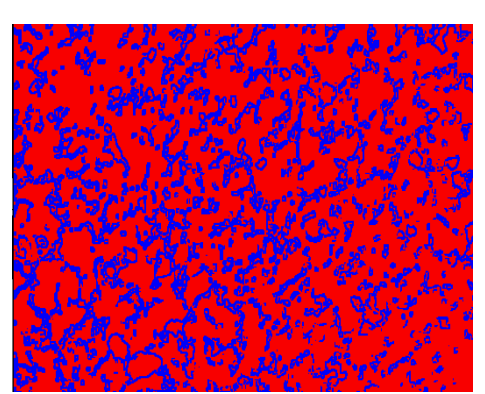
$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(644) - 2.954 = 6.38$$


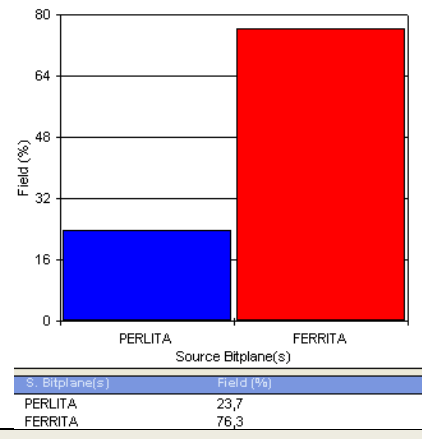
Tamaño de grano ASTM: 6.38 \cong 6

Componentes: Ferrita y Perlita

Componentes microestructurales:100x



Porcentajes:



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 780 °C por tres horas , se puede indicar que los componentes de material base son: 78.3% de Ferrita y 23.7% de Perlita.

El tamaño de grano es 6.38

Observaciones:



EVALUACIÓN MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Temperatura de recocido: 780°C **Tiempo de recocido:** 3 horas

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** ZAT

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

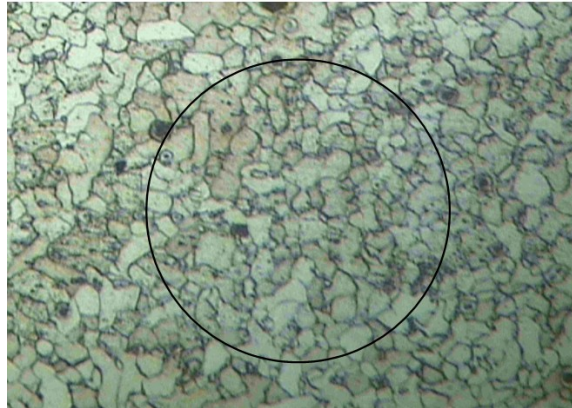
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(141 + \frac{45}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 163,5 = 1308$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(1308) - 2.954 = 7.40$$

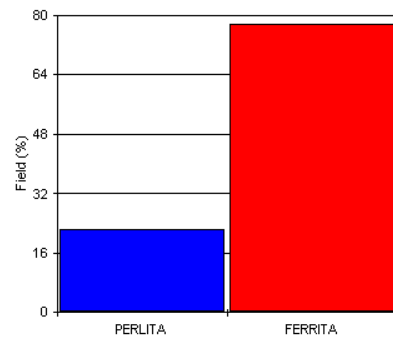
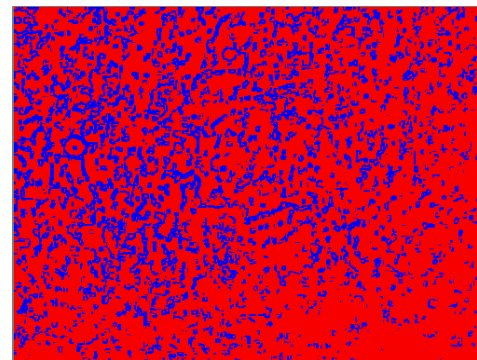


Tamaño de grano ASTM: 7.40 \cong 7

Componentes: Ferrita y Perlita deformadas.

Componentes microestructurales: 100x

Porcentajes:



S. Bitplane(s)	Field (%)
PERLITA	22,5
FERRITA	77,5

Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocida a 780 °C por tres horas, se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 77.8% de Ferrita y 22.5% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es 7.40

Observaciones:



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Temperatura de recocido: 780°C **Tiempo de recocido:** 3 horas

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Depósito de Soldadura

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

Cálculo:

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(193 + \frac{42}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 214 = 1712$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(1712) - 2.954 = 7.79$$

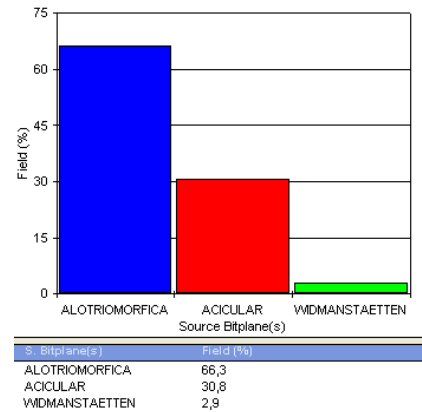
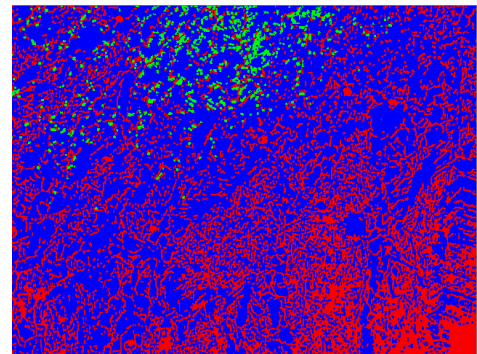


Tamaño de grano ASTM: 7.79 \cong 8

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (α), Ferrita Acicular ($\alpha\alpha$), Ferrita de Widmanstaetten ($\alpha\omega$)

Componentes microestructurales: 100x

Porcentajes:





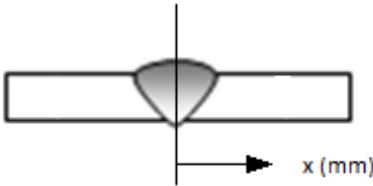
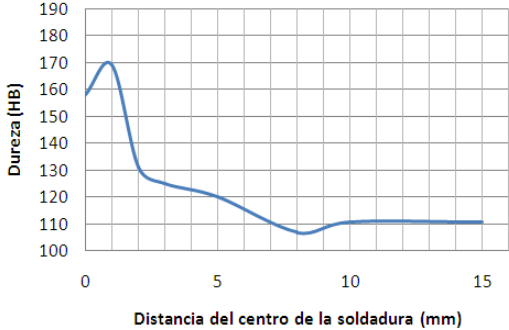
Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 780°C por tres horas, se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 66.3% de Ferrita Alotriomórfica (α), 30.8 % de Ferrita Acicular ($\alpha\alpha$), y 2.9% de Ferrita de Widmanstaetten ($\alpha\omega$).



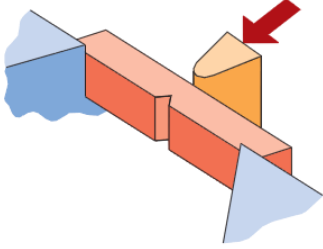
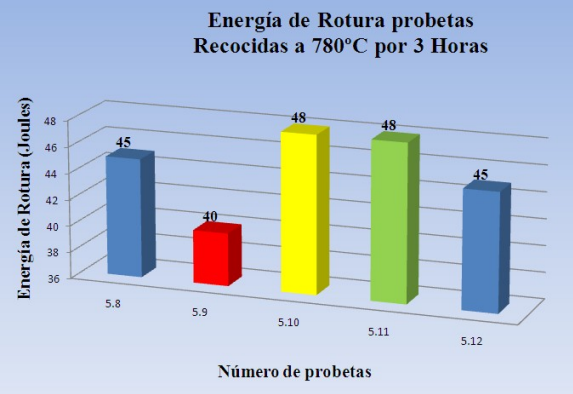
El tamaño de grano es 7.79

Observaciones:



4.2.7.3.- ENSAYO DE DUREZA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 3 HORAS

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos:			
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	780°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	5.7
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	26/06/2012
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	Brinell	Norma Aplicable:	E 10:01
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min
RESULTADO			
		DUREZA RECOCIDO 780°C3 HORAS 	
N°	Distancia desde el centro (mm)	Ø Identación (mm)	Dureza (HB)
1	0	1.19	158
2	1	1.15	169
3	2	1.3	131
4	3	1.33	125
5	5	1.425	107
6	8	1.4	111
7	10	1.4	111
8	15	1.4	111
Interpretación de Resultados:			
La dureza para una probeta recocida a 780 °C por tres horas tiene una dureza máxima de 169 HB a 1 mm de distancia del centro de la soldadura y una dureza mínima de 107 HB a 8 mm de distancia del centro de la soldadura.			
OBSERVACIONES:			

4.2.7.4.- ENSAYO DE IMPACTO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 780 °C POR 3 HORAS

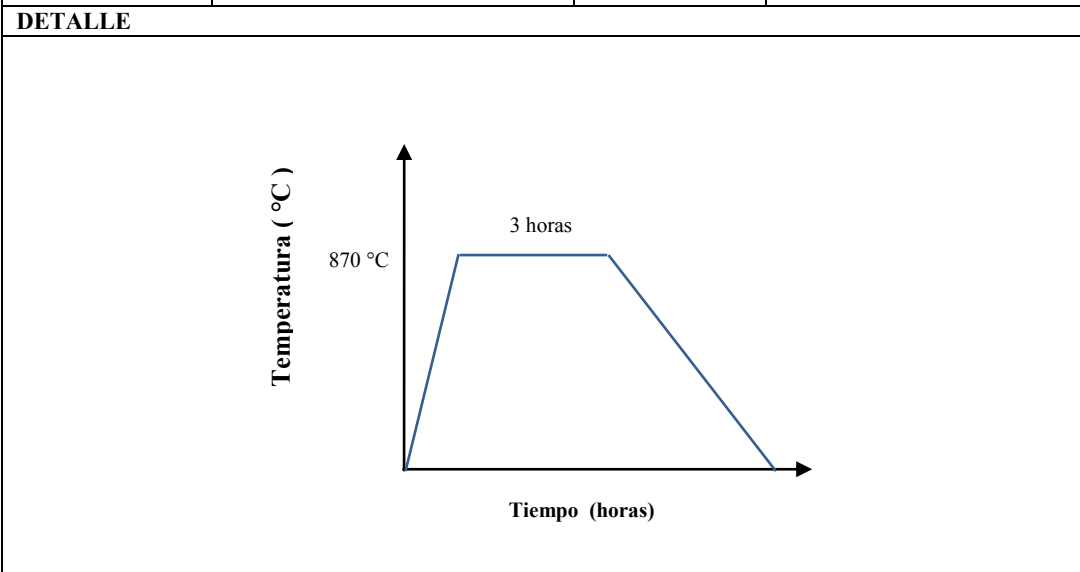
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE IMPACTO					
Datos Informativos:					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	780°C		
Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas	Realizado por:	Ing. Henry Vaca		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	5.8-5.9-5.10-5.11-5.12		
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	01/10/2012		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM			
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO					
DESCRIPCIÓN:					
Método:	Charpy	Norma Aplicable:	ASTM E 23:02		
Temperatura:	21 °C	Tiempo de ensayo	1 min.		
RESULTADO					
					
N°	N° de probeta	Energía de Impacto (Joules)			
1	5.8	45			
2	5.9	40			
3	5.10	48			
4	5.11	48			
5	5.12	45			
	Promedio	45.2			
Interpretación de Resultados:					
<p>Para una probeta sin tratamiento térmico el promedio de la energía de impacto se encuentra en 45.2 Joules. El mayor valor registrado es 48 J. , el menor valor es 40 J.</p>					
OBSERVACIONES:					

4.2.8.- ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 3 HORAS

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

DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por: Ing. H. Vaca		Ing. H. Vaca	Realizado por: Ing. H. Vaca
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales- UTA –FICM	Fecha de ejecución:	26/06/2012
Temperatura ambiente del lugar:	21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	RECOCIDO	Temperatura de Recocido:	870 °C	Tiempo de Permanencia en el Horno	3 horas
Tipo de enfriamiento	Enfriamiento Lento		Medio de enfriamiento	Aire en el Horno	
Especificación Material Base	Acero	Especificación Material de aporte	Electrodo de acero al carbono		
Tipo o grado:	AISI 1018	Tipo	AWS – E 7018		
Diámetro:	3/4"	Diámetro	1/8"		
Características:	Eje	Normativa	AWS A 5.1		



4.2.8.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 3 HORAS

ENSAYO DE TRACCIÓN			
PROBETA #	6.1	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	21/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"
RESULTADOS:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN</p> <p style="text-align: center;">PROBETA 6.1 ACERO 1018 SOLDADO CON ELECTRODO 7018 RECOCIDO 870°C - 3 HORAS</p>			
RESULTADOS REGISTRADOS			
Carga Máxima:	4403 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	64 mm	Deformación Máxima:	13.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8.0 mm
RESULTADOS CALCULADOS			
Resistencia a la Tracción (Sut):	34.76 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	19.9 Kg/mm ²
% de Elongación:	25.98%	% de Reducción de Área:	60.32%
Módulo de Elasticidad:	21229 Kg/mm ²		
OBSERVACIONES:			

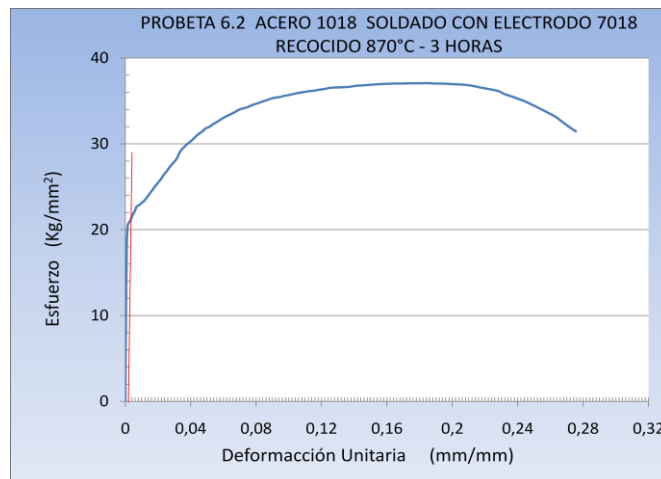


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	6.2	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	21/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	4695 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	66 mm	Deformación Máxima:	15.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	37.06 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	20.7 Kg/mm ²
% de Elongación:	29.92%	% de Reducción de Área:	60.32%
Módulo de Elasticidad:	20397 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

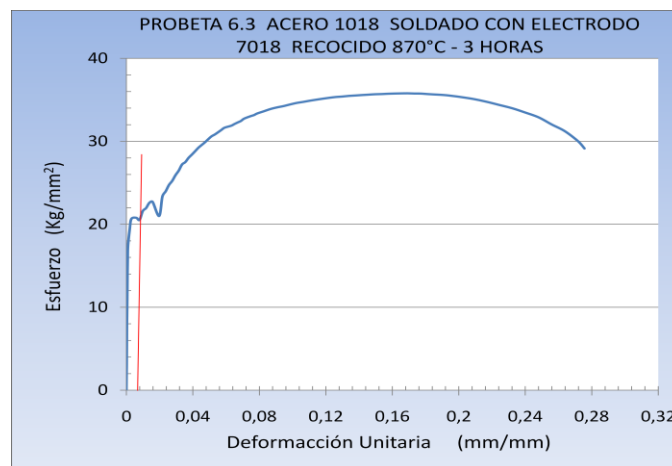


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	6.3	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	23/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	4533 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	65 mm	Deformación Máxima:	14.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	35.78 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	20.60 Kg/mm ²
% de Elongación:	27.95%	% de Reducción de Área:	60.32%
Módulo de Elasticidad:	19428 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

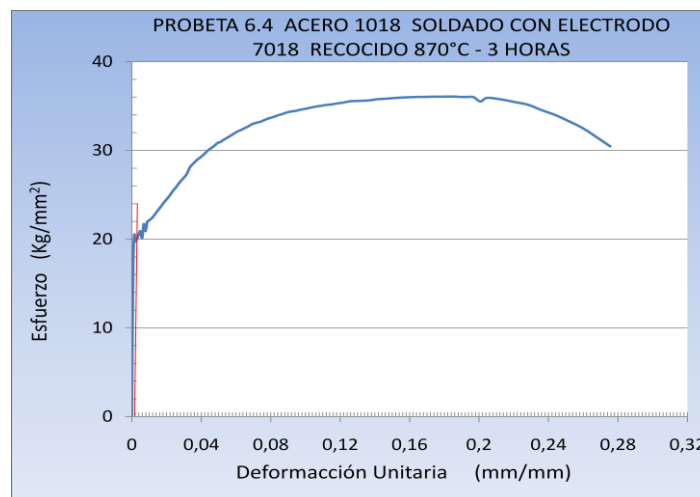


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	6.4	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	23/06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½”	Longitud de calibración	2”

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	4570 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	66 mm	Deformación Máxima:	15.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	36.08 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	20 Kg/mm ²
% de Elongación:	29.92%	% de Reducción de Área:	60.32%
Módulo de Elasticidad:	21102 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

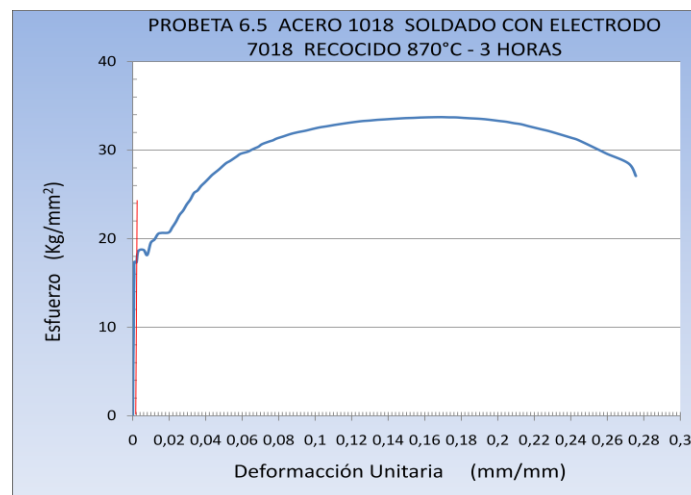


ENSAYO DE TRACCIÓN

PROBETA #	6.5	Tratamiento Térmico:	RECOCIDO
Temperatura de Tratamiento Térmico:	870 °C	Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas
Norma aplicable	ASTM E8:04, E111:97		
Lugar de realización	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
Instrumento:	Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton		
Fecha de ejecución:	24//06/2012	Realizado por:	Ing. Henry Vaca O.
Método:	Deformación controlada		
Diámetro de la Probeta	½"	Longitud de calibración	2"

RESULTADOS:

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



RESULTADOS REGISTRADOS

Carga Máxima:	4273 Kg	Longitud Inicial:	50.8 mm
Longitud Final :	65 mm	Deformación Máxima:	14.2 mm
Diámetro Inicial:	12.7 mm	Diámetro Final:	8 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la Tracción (Sut):	33.73 Kg/mm ²	Resistencia a la Cedencia (Sy):	18 Kg/mm ²
% de Elongación:	27.95%	% de Reducción de Área:	60.32%
Módulo de Elasticidad:	21102 Kg/mm ²		

OBSERVACIONES:

4.2.8.2.- ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 3 HORAS



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

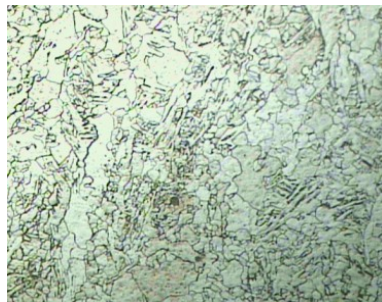
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	870°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	6.6
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 6.6
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	25/06/2012
Normas aplicables:	ASTM E 3:01, ASTM E 112:96		
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

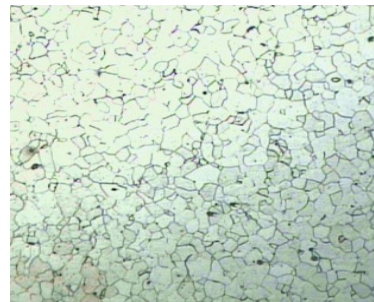
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	45 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	7 seg

RESULTADO:

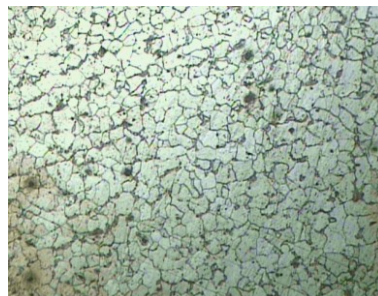
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO E 7018 RECOCIDO A 870 °C DURANTE TRES HORAS



Soldadura



ZAT



Material Base

JUNTA SOLDADA RECOCIDA A 870° C 3h 100X 7 seg. Nital 4



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

Temperatura de recocido: 870°C **Tiempo de recocido:** 3 horas

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Metal Base

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :**200x

Cálculo:

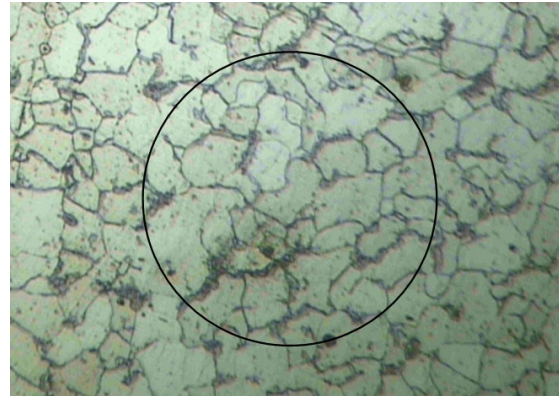
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(72 + \frac{33}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 85.5 = 708$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

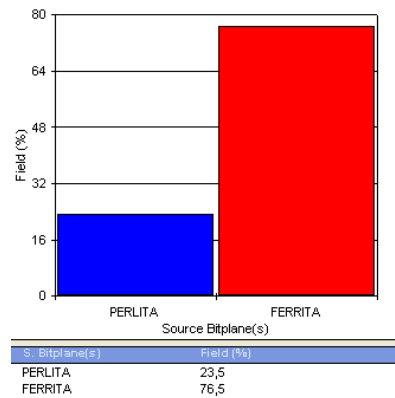
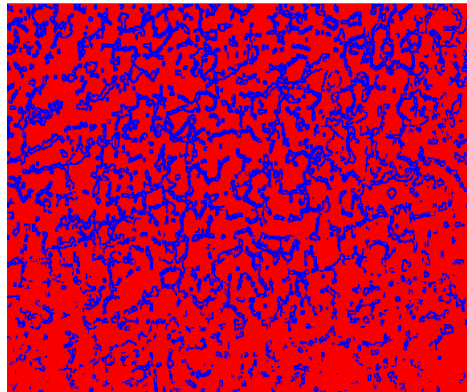
$$G = 3,321918 * \log(708) - 2.954 = 6.51$$



Tamaño de grano ASTM: 6.51 \cong 6.50

Componentes: Ferrita y Perlita

Componentes microestructurales:100x **Porcentajes:**



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 870 °C por tres horas , se puede indicar que los componentes de material base son: 76.5% de Ferrita y 23.5 % de Perlita.

El tamaño de grano es 6.5

Observaciones:



EVALUACIÓN MICROESTRUCTURA: ZAT (ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA)

Temperatura de recocido: 870°C **Tiempo de recocido:** 3 horas

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** ZAT

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :** 200x

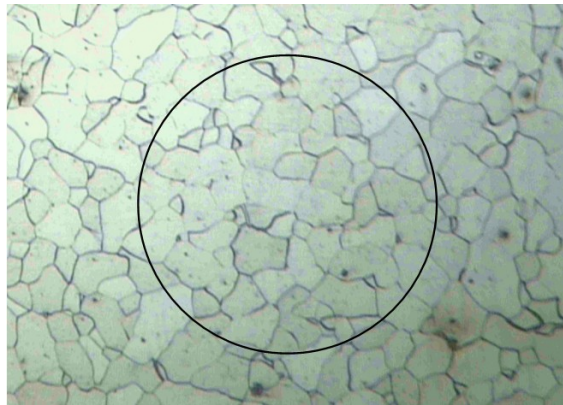
Cálculo:

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(47 + \frac{27}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

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

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

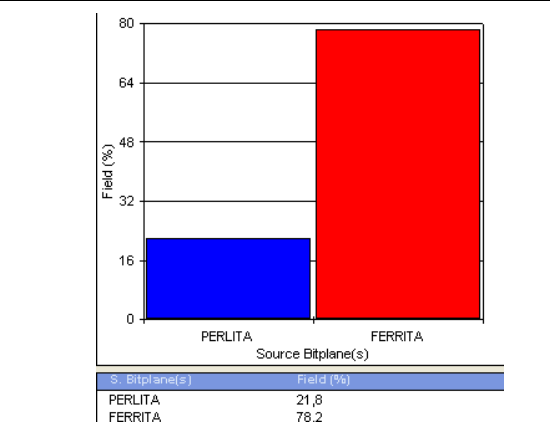
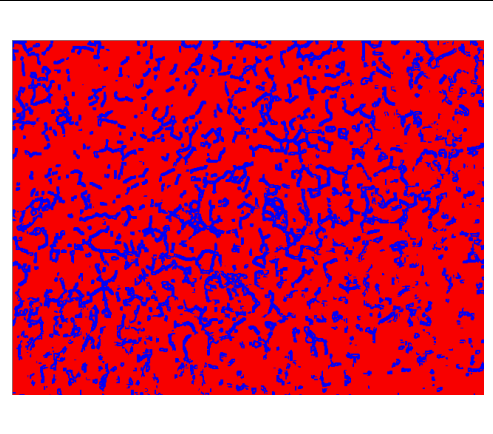
$$G = 3,321918 * \log(484) - 2.954 = 5.96$$


Tamaño de grano ASTM: 5,96 \cong 6

Componentes: Ferrita y Perlita deformadas.

Componentes microestructurales: 100x

Porcentajes:



Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 870°C por tres horas, se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 78.2% de Ferrita y 21.8% de Perlita, las dos estructuras con cierta deformación

El tamaño de grano es 5.96

Observaciones:



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: DEPÓSITO DE SOLDADURA

Temperatura de recocido: 870°C **Tiempo de recocido:** 3 horas

Determinación del tamaño de grano: **Microestructura:** Depósito de Soldadura

Método : ASTM E 112:96 **Magnificación :**200x

Cálculo:

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(87 + \frac{42}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 108 = 864$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

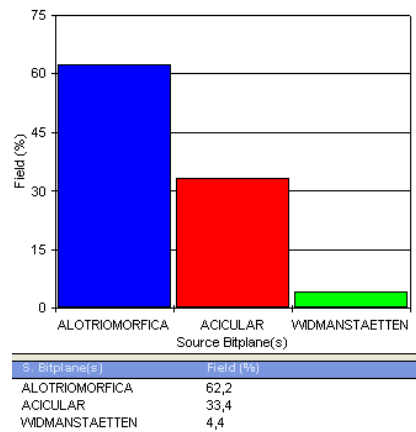
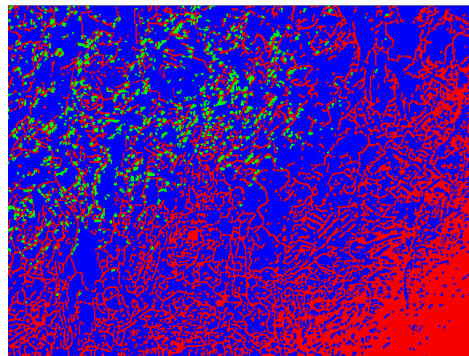
$$G = 3,321918 * \log(864) - 2.954 = 6.80$$



Tamaño de grano ASTM: 6.80 \cong 7

Componentes: Ferrita Alotriomórfica (α), Ferrita Acicular (α_a), Ferrita de Widmanstaetten (α_w)

Componentes microestructurales:100x **Porcentajes:**





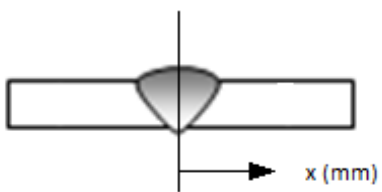
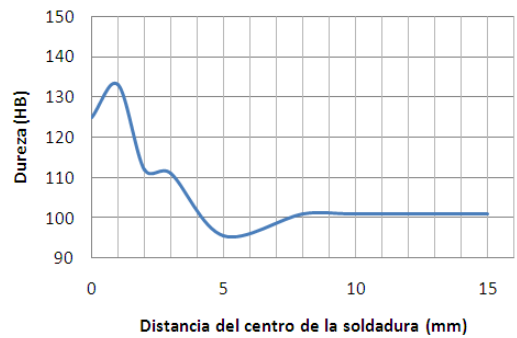
Interpretación de resultados:

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 870°C por tres horas, se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 62.2% de Ferrita Alotriomórfica (α), 33.4 % de Ferrita Acicular (α_a), y 4.4% de Ferrita de Widmanstaetten (α_w).



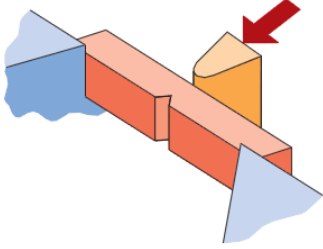
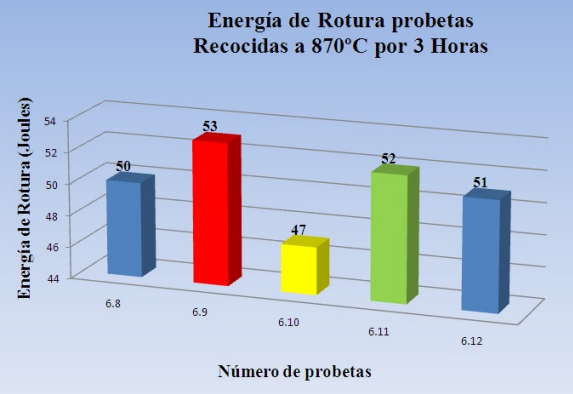
El tamaño de grano es 6.80

Observaciones:

4.2.8.3.- ENSAYO DE DUREZA DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 3 HORAS

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos:			
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	870°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	6.7
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	26/06/2012
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	Brinell	Norma Aplicable:	E 10:01
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min
RESULTADO			
		DUREZA RECOCIDO 870°C 3 HORAS 	
N°	Distancia desde el centro (mm)	Ø Identación (mm)	Dureza (HB)
1	0	1.3275	125
2	1	1.29	133
3	2	1.395	112
4	3	1.4005	111
5	5	1.505	95.5
6	8	1.465	101
7	10	1.465	101
8	15	1.465	101
Interpretación de Resultados:			
La dureza para una probeta recocida a 870 °C por tres horas tiene una dureza máxima de 133 HB a 1 mm de distancia del centro de la soldadura y una dureza mínima de 95.5 HB a 5 mm de distancia del centro de la soldadura.			
OBSERVACIONES:			

4.2.8.4.- ENSAYO DE IMPACTO DE LA SOLDADURA DE ACERO AISI 1018 CON ELECTRODO AWS E-7018, RECOCIDO A 870 °C POR 3 HORAS

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE IMPACTO			
Datos Informativos:			
Tratamiento Térmico:	Recocido	Temperatura de Tratamiento Térmico	870°C
Tiempo de Tratamiento Térmico:	3 horas	Realizado por:	Ing. Henry Vaca
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	6.8-6.9-6.10-6.11-6.12
Solicitado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	01/10/2012
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:		Supervisado por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	Charpy	Norma Aplicable:	ASTM E 23:02
Temperatura:	21 °C	Tiempo de ensayo	1 min.
RESULTADO			
			 <p style="text-align: center;">Energía de Rotura probetas Recocidas a 870°C por 3 Horas</p>
N°	N° de probeta	Energía de Impacto (Joules)	
1	6.8	50	
2	6.9	53	
3	6.10	47	
4	6.11	52	
5	6.12	51	
	Promedio	50.6	
Interpretación de Resultados:			
Para una probeta sin tratamiento térmico el promedio de la energía de impacto se encuentra en 50.6 Joules. El mayor valor registrado es 53 J. , el menor valor es 47 J.			
OBSERVACIONES:			

4.3.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.3.1.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Tabla 4.1. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 sin tratamiento térmico. (Fuente: Autor)

	Sut (Kg /mm²)	Sy (Kg /mm²)	EL %	Red. Área %	Módulo de Young (Kg /mm²)
PROBETA 0.1	42.58	28.50	8.07	34.22	19200.00
PROBETA 0.2	47.60	34.00	10.24	31.64	20560.00
PROBETA 0.3	48.39	34.50	8.27	24.98	20562.00
PROBETA 0.4	47.43	34.70	9.25	31.64	23761.00
PROBETA 0.5	48.86	35.00	7.87	27.68	20816.00
PROMEDIO	46.97	33.34	8.74	30.04	20979.80

Tabla 4.2. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 600°C durante 1 hora. (Fuente: Autor)

	Sut (Kg /mm²)	Sy (Kg /mm²)	EL %	Red. Área %	Módulo de Young (Kg /mm²)
PROBETA 1.1	49.27	34.10	22.05	38.00	21509.00
PROBETA 1.2	44.57	32.00	19.09	31.64	20786.00
PROBETA 1.3	46.78	32.00	20.08	32.94	20252.00
PROBETA 1.4	45.52	34.00	22.05	38.00	20161.00
PROBETA 1.5	48.56	34.00	23.03	31.64	21556.00
PROMEDIO	46.94	33.22	21.26	34.45	20852.80

Tabla 4.3. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 780°C durante 1 hora. (Fuente: Autor)

	Sut (Kg/mm²)	Sy (Kg/mm²)	EL %	Red. Área %	Módulo de Young (Kg/mm²)
PROBETA 2.1	42.73	31.00	23.23	38.00	18944.00
PROBETA 2.2	44.21	27.50	20.08	38.00	22736.00
PROBETA 2.3	43.76	25.00	22.05	38.00	19589.00
PROBETA 2.4	42.37	30.00	20.08	24.98	20989.00
PROBETA 2.5	42.59	31.50	23.03	38.00	21695.00
PROMEDIO	43.13	29.00	21.69	35.40	20790.60

Tabla 4.4. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 870°C durante 1 hora. (Fuente: Autor)

	Sut (Kg/mm²)	Sy (Kg/mm²)	EL %	Red. Área %	Módulo de Young (Kg/mm²)
PROBETA 3.1	37.27	20.50	25.98	60.32	22041.00
PROBETA 3.2	37.99	22.00	25.98	60.32	20040.00
PROBETA 3.3	37.98	22.00	29.92	62.28	20191.00
PROBETA 3.4	36.79	23.00	22.05	57.29	20557.00
PROBETA 3.5	36.79	20.80	25.98	60.32	20587.00
PROMEDIO	37.36	21.66	25.98	60.11	20683.20

Tabla 4.5. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 600°C durante 3 horas. (Fuente: Autor)

	Sut (Kg/mm²)	Sy (Kg/mm²)	EL %	Red. Área %	Módulo de Young (Kg/mm²)
PROBETA 4.1	47.74	33.00	21.46	34.22	20894.00
PROBETA 4.2	43.99	32.10	21.46	34.22	19969.00
PROBETA 4.3	47.33	35.80	22.05	35.50	22207.00
PROBETA 4.4	48.01	33.00	22.05	34.22	21128.00
PROBETA 4.5	43.81	32.00	23.03	38.00	19969.00
PROMEDIO	46.18	33.18	22.01	35.23	20833.40

Tabla 4.6. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 780°C durante 3 horas.

(Fuente: Autor)

	Sut (Kg /mm ²)	Sy (Kg /mm ²)	EL %	Red. Área %	Módulo de Young (Kg /mm ²)
PROBETA 5.1	40.95	28.50	31.10	49.78	18925.00
PROBETA 5.2	42.45	29.00	20.08	29.02	23887.00
PROBETA 5.3	39.77	30.00	18.11	24.98	18033.00
PROBETA 5.4	41.38	28.20	31.89	55.20	21079.00
PROBETA 5.5	41.78	28.80	24.02	49.78	21814.00
PROMEDIO	41.27	28.90	25.04	41.75	20747.60

Tabla 4.7. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 870°C durante 3 horas.

(Fuente: Autor)

	Sut (Kg /mm ²)	Sy (Kg /mm ²)	EL %	Red. Area %	Módulo de Young (Kg /mm ²)
PROBETA 5.1	34.76	19.90	25.98	60.32	21229.00
PROBETA 5.2	37.06	20.70	29.92	60.32	20397.00
PROBETA 5.3	35.78	20.60	27.95	60.32	19428.00
PROBETA 5.4	36.08	20.00	29.92	60.32	21102.00
PROBETA 5.5	33.73	18.00	27.95	60.32	21102.00
PROMEDIO	35.48	19.84	28.35	60.32	20651.60

Los resultados obtenidos de los seis procesos de recocido analizados, se los compara con los resultados de las probetas sin tratamiento térmico, los que se convierten en la referencia de comparación.

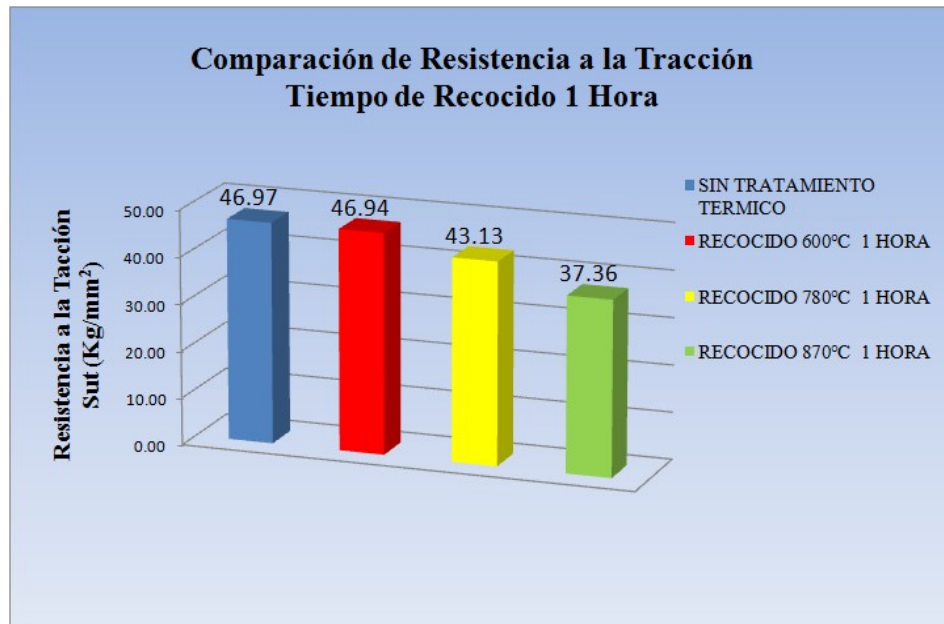


Figura 4.1 Comparación de Resistencia a la Tracción (Sut), Tiempo de recocido: 1 hora
Fuente:Autor

En la figura 4.1 se puede observar que la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora tiene un valor promedio de resistencia a la tracción de 46.94 Kg/mm² muy parecido al de las probetas que no tiene tratamiento térmico cuyo valor promedio es de 46.97 Kg/mm². A medida que aumenta la temperatura de recocido la resistencia a la tracción va disminuyendo, el menor valor es de 37.36 Kg/mm² para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

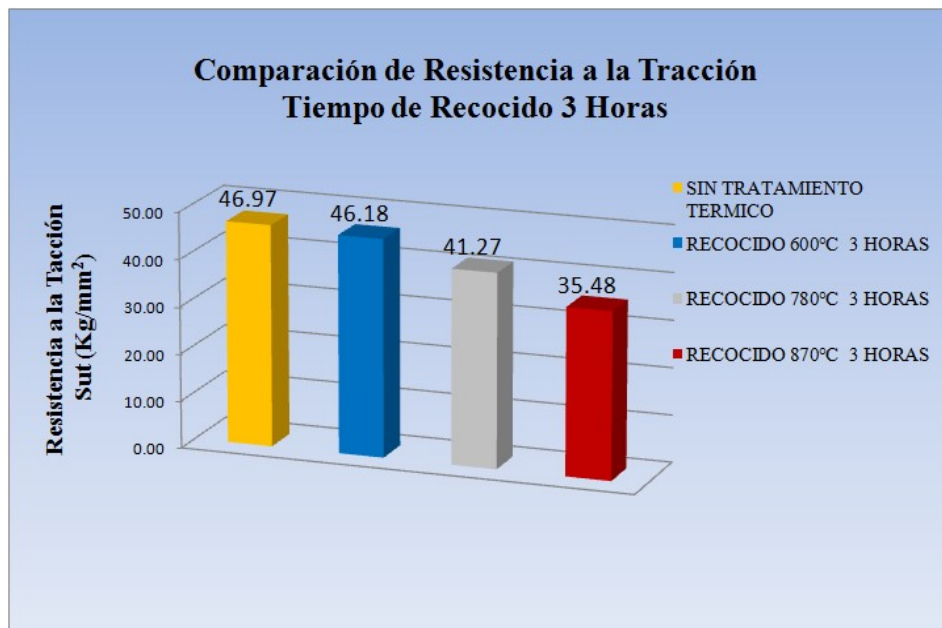


Figura 4.2 Comparación de Resistencia a la Tracción (Sut), Tiempo de recocido: 3 horas
Fuente:Autor

En la figura 4.2 se puede observar que la resistencia a la tracción (Sut) de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor promedio de 46.18 Kg/mm² cercano al de las probetas que no tiene tratamiento térmico cuyo valor promedio es de 46.94 Kg/mm². A medida que aumenta la temperatura de recocido la resistencia a la tracción va disminuyendo, el menor valor es de 35.48 Kg/mm² para las probetas recocidas a 870°C durante tres horas.

La resistencia a la tracción obtenida para las probetas recocidas a a 600°C durante una hora como lo indica la figura 4.1 es un valor promedio de 46.94 Kg/mm², mientras que para las probetas recocidas a 600°C durante tres horas el valor promedio es de 46.18 Kg/mm² lo que indica que a medida que aumenta el tiempo de recocido disminuye la resistencia a la tracción.



Figura 4.3 Comparación de Resistencia a la Cedencia (Sy) Tiempo de recocido: 1 hora
Fuente: Autor

Similar a lo que sucede con la Resistencia a la Tracción (Sut), la resistencia a la cedencia (Sy) que se puede visualizar en la figura 4.3, se nota que la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora tiene un valor promedio de 33.22 Kg/mm² muy parecido al de las probetas que no tiene tratamiento térmico cuyo valor promedio es de 33.24 Kg/mm². A medida que aumenta la temperatura de recocido la resistencia a cedencia va disminuyendo, el menor valor es de 21,66 Kg/mm² para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

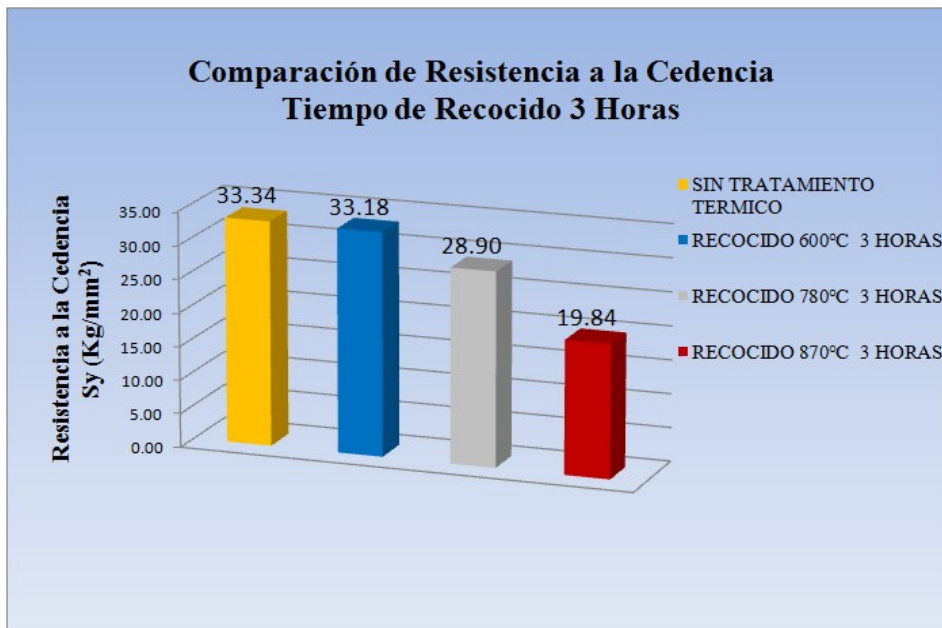


Figura 4.4 Comparación de Resistencia a la Cedencia (Sy), Tiempo de recocido: 3 horas
Fuente:Autor

En la figura 4.4 se puede observar que la resistencia a la cedencia (Sy) de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor promedio de 33.18 Kg/mm² cercano al de las probetas que no tiene tratamiento térmico cuyo valor promedio es de 33.34 Kg/mm². A medida que aumenta la temperatura de recocido, la resistencia a la cedencia va disminuyendo, el menor valor es de 19.84 Kg/mm² para las probetas recocidas a 870°C durante tres horas.

La resistencia a la cedencia obtenida para las probetas recocidas a 600°C durante una hora como lo indica la figura 4.3 es un valor promedio de 33.22 Kg/mm², mientras que para las probetas recocidas a 600°C durante tres horas el valor promedio es de 33.18 Kg/mm² lo que indica que a medida que aumenta el tiempo de recocido tiende a disminuir la resistencia a la cedencia.

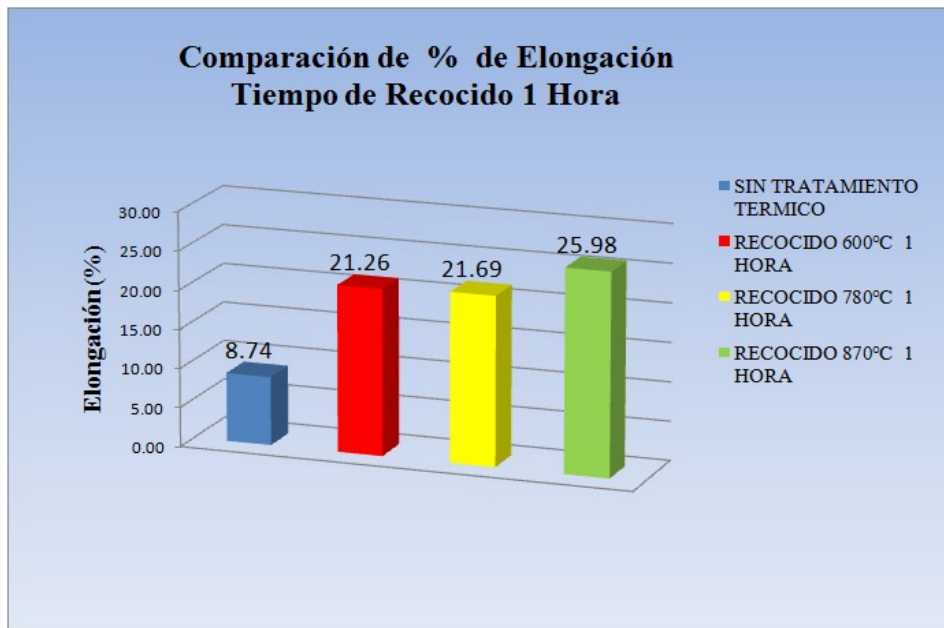


Figura 4.5 Comparación del porcentaje de elongación (%EL), Tiempo de recocido: 1 hora
Fuente: Autor

La figura 4.5 indica que el porcentaje de elongación de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora, tiene un valor promedio de 21.26 %, que tiene un incremento significativo en comparación con el valor promedio de las probetas sin tratamiento térmico que es de 8.74%. A medida que aumenta la temperatura de recocido el porcentaje de elongación va incrementando, el mayor valor es de 25.98% para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

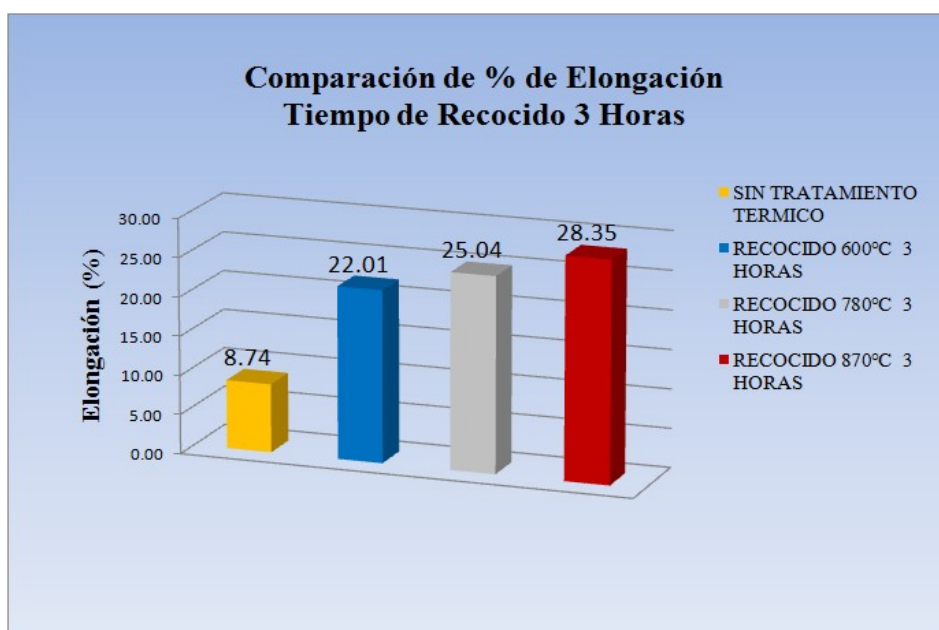


Figura 4.6 Comparación del porcentaje de elongación (%EL), Tiempo de recocido: 3 horas
Fuente: Autor

La figura 4.6 indica que el porcentaje de elongación de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor promedio de 22.01%, que tiene un incremento significativo en comparación con el valor promedio de las probetas sin tratamiento térmico que es de 8.74%. A medida que aumenta la temperatura de recocido el porcentaje de elongación va incrementando, el mayor valor es de 28.35% para las probetas recocidas a 870°C durante tres horas.

El porcentaje de elongación obtenida para las probetas recocidas a 600°C durante una hora como lo indica la figura 4.5 es un valor promedio de 21.26 %, mientras que para las probetas recocidas a 600°C durante tres horas el valor promedio es de 22.01% lo que indica que a medida que aumenta el tiempo de recocido aumenta el porcentaje de elongación.

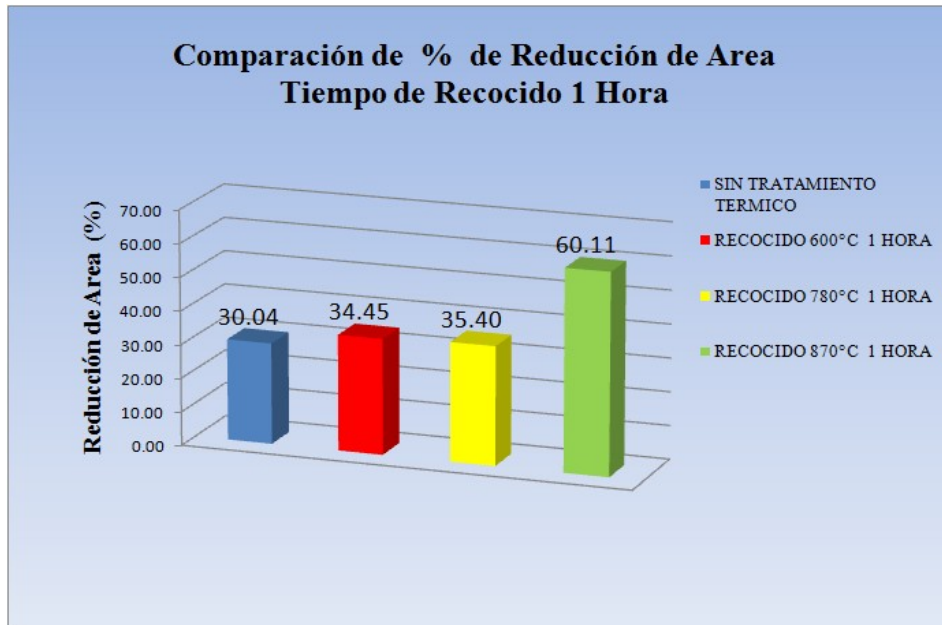


Figura 4.7 Comparación del porcentaje de Reducción de Área, Tiempo de recocido: 1 hora
Fuente: Autor

La figura 4.7 indica que el porcentaje de reducción de área de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora, tiene un valor promedio de 34.45 %, que tiene un incremento significativo en comparación con el valor promedio de las probetas sin tratamiento térmico que es de 30.04%. A medida que aumenta la temperatura de recocido el porcentaje de reducción de área va incrementando, el mayor valor es de 60.11% para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

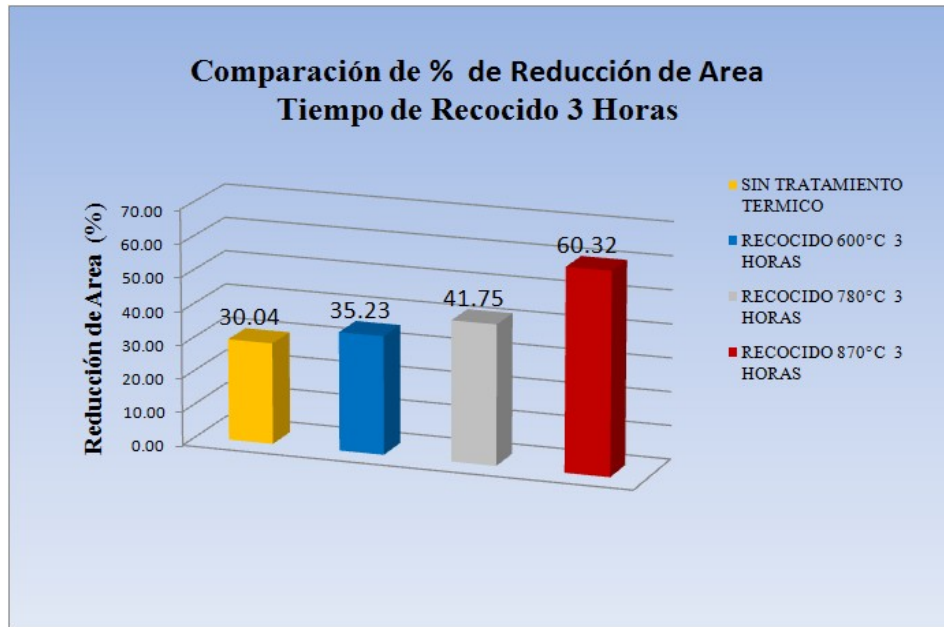


Figura 4.8 Comparación del porcentaje de Reducción de Área, Tiempo de recocido: 3 horas
Fuente: Autor

La figura 4.8 indica que el porcentaje de reducción de área de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor promedio de 35.23% , que tiene un incremento significativo en comparación con el valor promedio de las probetas sin tratamiento térmico que es de 30.04%. A medida que aumenta la temperatura de recocido el porcentaje de reducción de área se va incrementando, el mayor valor es de 60.32% para las probetas recocidas a 870°C durante tres horas.

El porcentaje de reducción de área obtenida para las probetas recocidas a 600°C durante una hora como lo indica la figura 4.7 es un valor promedio de 34.45 %, mientras que para las probetas recocidas a 600°C durante tres horas el valor promedio es de 35.23% lo que indica que a medida que aumenta el tiempo de recocido aumenta el porcentaje reducción de área.

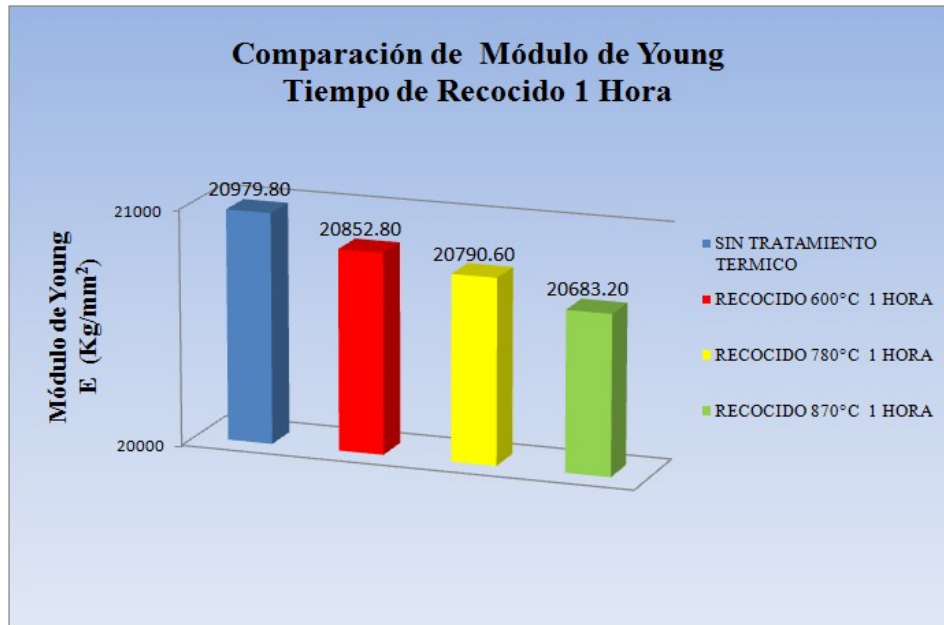


Figura 4.9 Comparación del Módulo de Young, Tiempo de recocido: 1 hora
Fuente:Autor

En la figura 4.9 se puede observar que el módulo de elasticidad de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora, tiene un valor promedio de 20852.80Kg/mm², que es menor al valor promedio de las probetas sin tratamiento térmico que es de 20979.80 Kg/mm². Lo que indica que las probetas recocidas presentan más elasticidad. A medida que aumenta la temperatura de recocido el módulo de elasticidad va disminuyendo, el menor valor es de 20683.20Kg/mm² para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

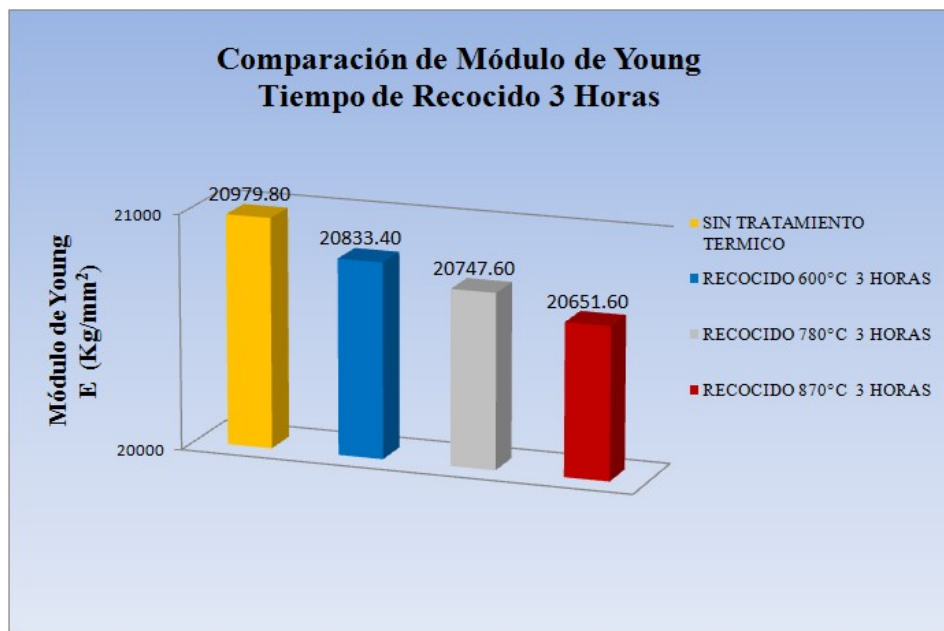


Figura 4.10 Comparación del Módulo de Young, Tiempo de recocido: 3 horas
Fuente: Autor

La figura 4.10 indica que el módulo de elasticidad de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor promedio de 20833.4 Kg/mm², que tiene un valor menor que el valor promedio de las probetas sin tratamiento térmico que es 20979.80 Kg/mm². Lo que indica que las probetas recocidas presentan más elasticidad. A medida que aumenta la temperatura de recocido el módulo de elasticidad va disminuyendo, el menor valor es de 20651.6 Kg/mm² para las probetas recocidas a 870°C durante tres horas.

El módulo de elasticidad obtenido para las probetas recocidas a 600°C durante una hora como lo indica la figura 4.9 es un valor promedio de 20852.80 Kg/mm², mientras que para las probetas recocidas a 600°C durante tres horas el valor promedio es de 20833.4 Kg/mm² lo que indica que a medida que aumenta el tiempo de recocido decrece el módulo de elasticidad, es decir la junta se hace más elástica.

4.3.2.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Tabla 4.8. Resultados tamaño de grano de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas por una hora. (**Fuente:** Autor)

	TAMAÑO DE GRANO ASTM		
	METAL BASE	ZAT	SOLDADURA
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	5.19	5.00	7.17
RECOCIDO 600°C 1 HORA	4.77	6.24	6.46
RECOCIDO 780°C 1 HORA	4.98	7.68	8.08
RECOCIDO 870°C 1 HORA	5.67	6.26	7.79

Tabla 4.9. Resultados tamaño de grano de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas por tres horas. (**Fuente:** Autor)

	TAMAÑO DE GRANO ASTM		
	METAL BASE	ZAT	SOLDADURA
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	5.19	5.00	7.17
RECOCIDO 600°C 3 HORAS	5.60	6.58	8.36
RECOCIDO 780°C 3 HORAS	6.38	7.40	7.79
RECOCIDO 870°C 3 HORAS	6.51	5.96	6.80

Tabla 4.10. Resultados de porcentaje de perlita de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 en la ZAT y en el metal base recocidas durante una hora. (**Fuente:** Autor)

	PORCENTAJE DE PERLITA (%)	
	ZAT	METAL BASE
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	25.4	26.4
RECOCIDO 600°C 1 HORA	24.0	24.9
RECOCIDO 780°C 1 HORA	23.4	23.7
RECOCIDO 870°C 1 HORA	22.9	23.6

Tabla 4.11. Resultados de porcentaje de perlita de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 en la ZAT y en el metal base recocidas durante tres horas. (**Fuente:** Autor)

	PORCENTAJE DE PERLITA (%)	
	ZAT	METAL BASE
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	25.4	26.4
RECOCIDO 600°C 3 HORAS	24.2	26.2
RECOCIDO 780°C 3 HORAS	22.5	23.7
RECOCIDO 870°C 3 HORAS	21.8	23.5

Tabla 4.12. Resultados de porcentaje de ferrita alotriomórfica y ferrita acicular de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 en el depósito de soldadura recocidas a una hora. (**Fuente:** Autor)

	PORCENTAJE DE FERRITA (%)	
	FERRITA ALOTRIOMORFICA	FERRITA ACICULAR
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	69.8	26
RECOCIDO 600°C 1 HORA	67.2	29.4
RECOCIDO 780°C 1 HORA	66.9	29.9
RECOCIDO 870°C 1 HORA	66.3	31.1

Tabla 4.13. Resultados de porcentaje de ferrita alotriomórfica y ferrita acicular de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 en el depósito de soldadura recocidas durante tres horas. (**Fuente:** Autor)

	PORCENTAJE DE FERRITA (%)	
	FERRITA ALOTRIOMORFICA	FERRITA ACICULAR
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	69.8	26
RECOCIDO 600°C 3 HORAS	66.4	30
RECOCIDO 780°C 3 HORAS	66.3	30.8
RECOCIDO 870°C 3 HORAS	62.2	33.4

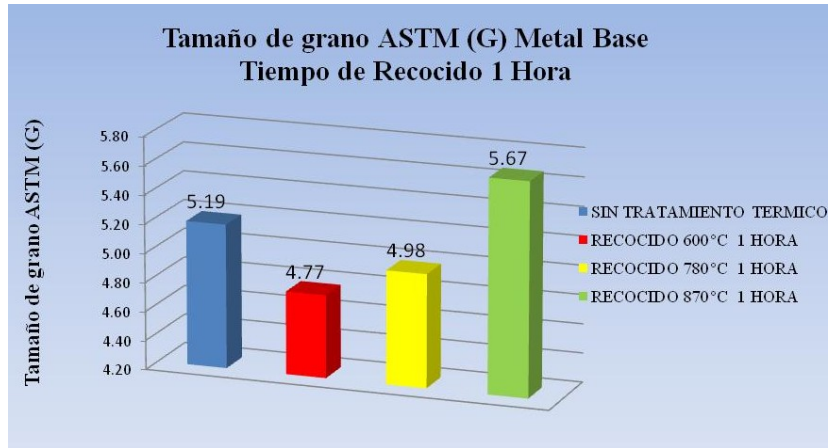


Figura 4.11 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el metal base, Tiempo de recocido: 1 hora. **Fuente:** Autor

La figura 4.11 muestra que el valor del tamaño de grano ASTM en el metal base de las juntas recocidas a 600°C durante una hora tiene un valor de 4.77 que es un valor menor que las de sin tratamiento térmico 5.19. Las probetas con mayor temperatura de recocido presentan mayor valor de tamaño de grano.

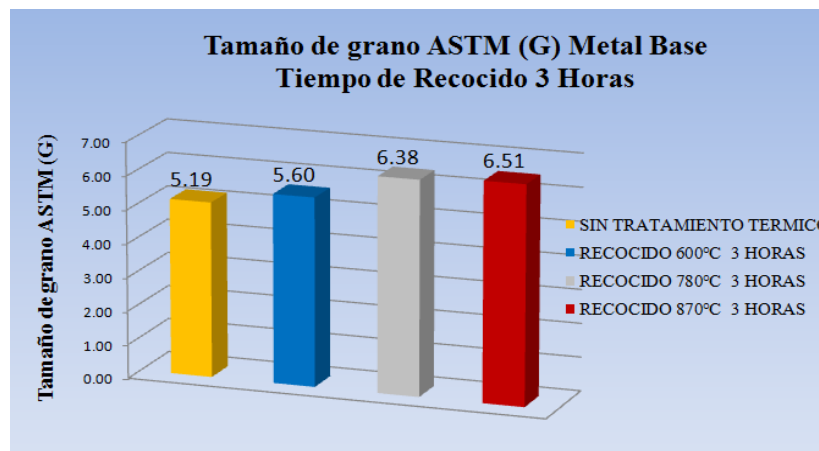


Figura 4.12 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el metal base, Tiempo de recocido: 3 horas. **Fuente:** Autor

La figura 4.12 indica que el valor del tamaño de grano ASTM en el metal base de las juntas recocidas a 600°C durante tres horas tiene un valor de 5.60 que es un valor mayor que las de sin tratamiento térmico 5.19. Las probetas con mayor temperatura de recocido presentan mayor valor de tamaño de grano. Comparando las figuras 4.11 y 4.12 se nota que a medida que aumenta el tiempo de recocido se incrementa el tamaño de grano ASTM en el material base.

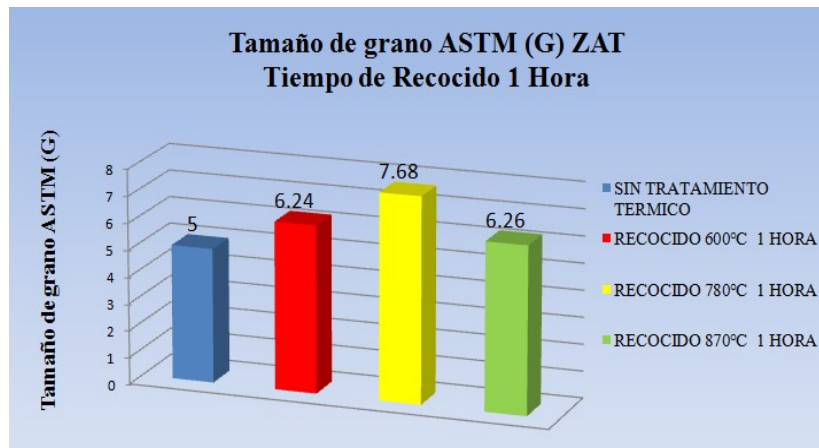


Figura 4.13 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en la ZAT, Tiempo de recocido: 1 hora.
Fuente: Autor

En la ZAT con el tratamiento térmico de recocido se visualiza que el valor del tamaño de grano ASTM incrementa para todas las probetas recocidas durante una hora, el mayor valor se presenta a 780°C con un valor de 7.68 como se observa en la figura 4.13.

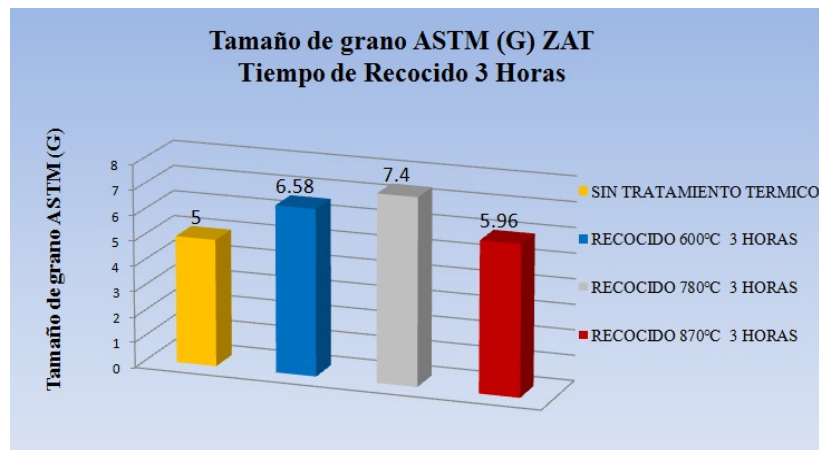


Figura 4.14 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en la ZAT, Tiempo de recocido: 3 horas. **Fuente:** Autor

El comportamiento del tamaño de grano en la ZAT de las probetas recocidas durante tres horas indica que el valor del tamaño de grano ASTM aumenta para las tres temperaturas de análisis en comparación con la de sin tratamiento. El mayor valor 7.4 se observa a la temperatura de 780°C.

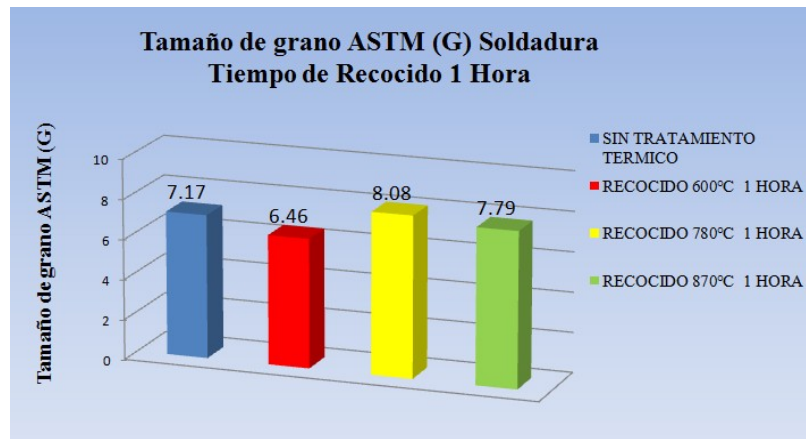


Figura 4.15 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido: 1 hora. **Fuente:** Autor

La figura 4.15 muestra que el mayor valor 4,77 del tamaño de grano ASTM en el depósito de soldadura durante una hora se produce a 780 °C.

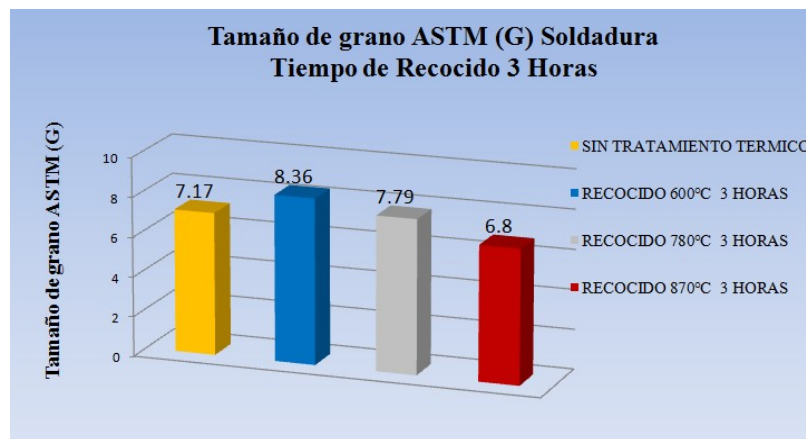


Figura 4.16 Comparación del Tamaño de Grano ASTM en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido: 3 horas. **Fuente:** Autor

La figura 4.16 indica que el valor del tamaño de grano ASTM en el depósito de soldadura de las juntas recocidas a 600°C durante tres horas tiene un valor de 8.36 que es un valor mayor que las de sin tratamiento térmico 7.17. Las probetas con mayor temperatura de recocido presentan menor valor de tamaño de grano.

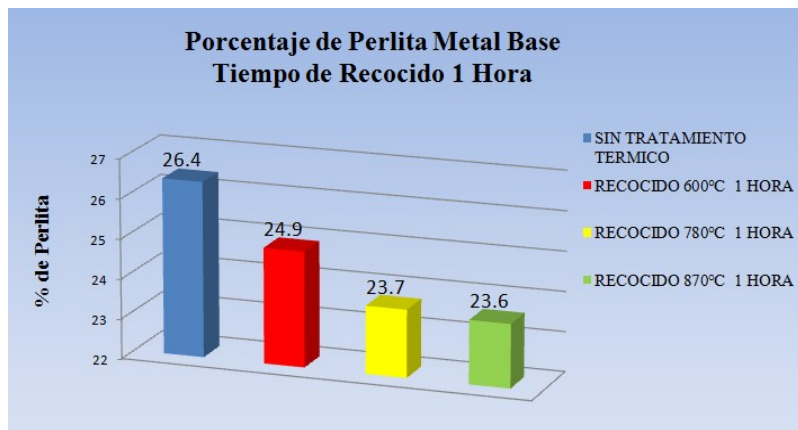


Figura 4.17 Comparación del Porcentaje de Perlita en el metal base, Tiempo de recocido: 1 hora. **Fuente:** Autor

En la figura 4.17 se puede visualizar que el contenido de perlita en el metal base de la probeta de soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E 7018 presenta un valor de 26.4%, El mayor valor de las probetas recocidas se encuentra a una temperatura de recocido de 600°C durante una hora. A medida que incrementa la temperatura de recocido, el porcentaje de perlita va decreciendo hasta e valor de 23.6% a una temperatura de recocido de 870 °C durante una hora.

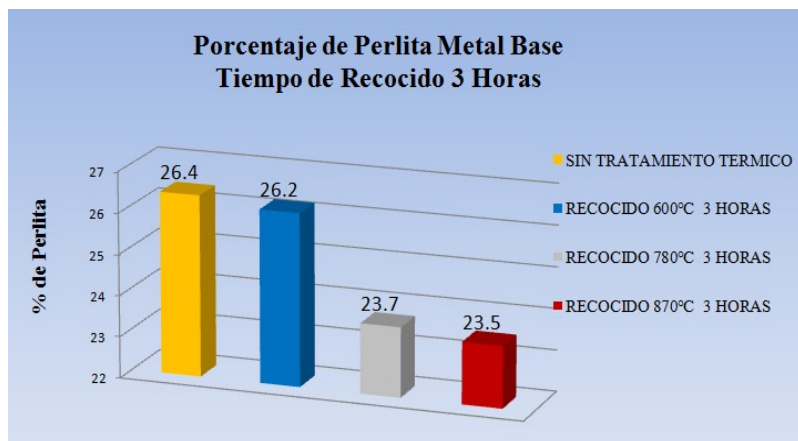


Figura 4.18 Comparación del Porcentaje de Perlita en el metal base, Tiempo de recocido: 3 horas. **Fuente:** Autor

En el metal base de las probetas recocidas durante tres horas, se observa un valor de 26.2 % de perlita a 600°C, que en comparación con las de recocido durante una hora presenta un incremento del contenido de perlita. A medida que se incrementa la temperatura de recocido, el contenido de perlita disminuye

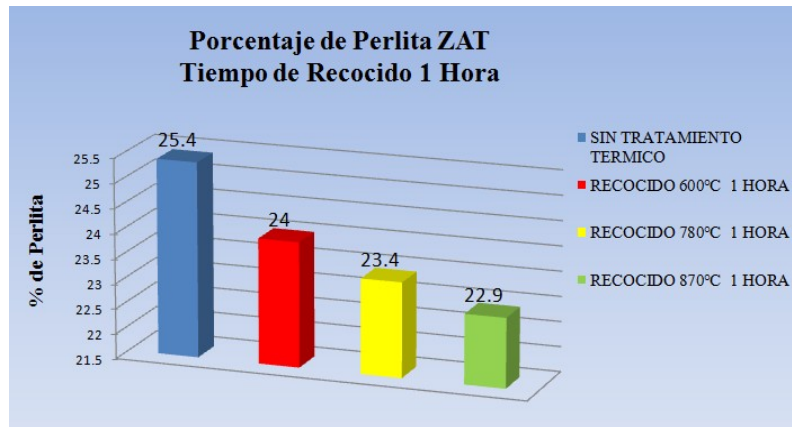


Figura 4.19 Comparación del Porcentaje de Perlita en la ZAT, Tiempo de recocido: 1 hora.
Fuente: Autor

La figura 4.19 muestra que el contenido de perlita en la ZAT de las juntas recocidas a 600°C durante una hora tiene un valor de 24% que es un valor menor que las de sin tratamiento térmico 25.4%. Las probetas con mayor temperatura de recocido presentan menores valores de contenido de perlita.

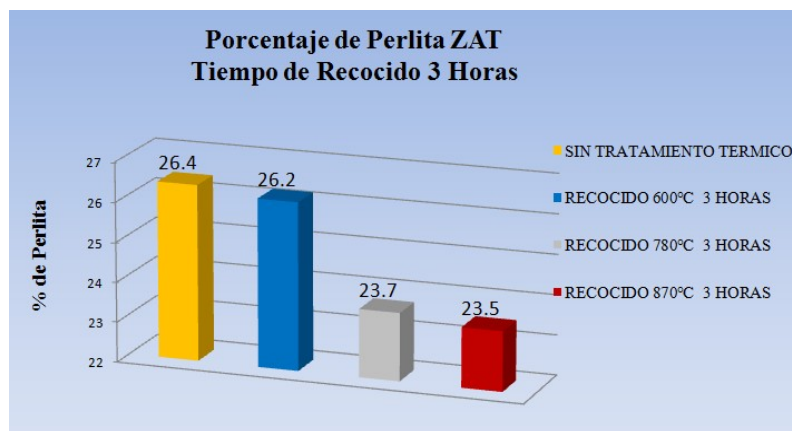


Figura. 4.20 Comparación del Porcentaje de Perlita en la ZAT, Tiempo de recocido: 3 horas.
Fuente: Autor

El porcentaje de perlita en la ZAT de las probetas recocidas durante tres horas tiene un valor de 26.2% a 600 °C que es ligeramente menor que el contenido de perlita de las probetas sin tratamiento térmico de recocido 26.4%. A medida que incrementa la temperatura de recocido, el porcentaje de perlita disminuye. Las probetas de tres horas tienen mayor contenido de perlita que las probetas recocidas durante una hora

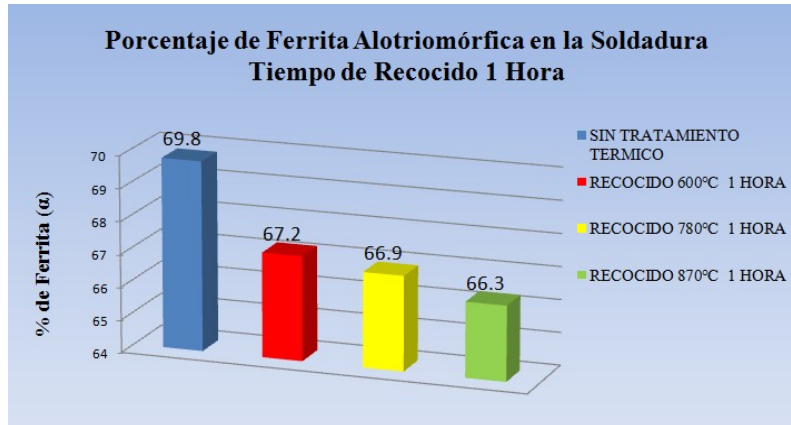


Figura 4.21 Comparación del Porcentaje de Ferrita Alotriomórfica en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido: 1 hora. **Fuente:** Autor

La figura 4.21 indica que el porcentaje ferrita alotriomórfica en el depósito de soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora, tiene un valor de 67.2% , que es menor que las probetas sin tratamiento térmico 69.8%. A medida que aumenta la temperatura de recocido el porcentaje ferrita alotriomórfica va disminuyendo, el menor valor es de 66.3% para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

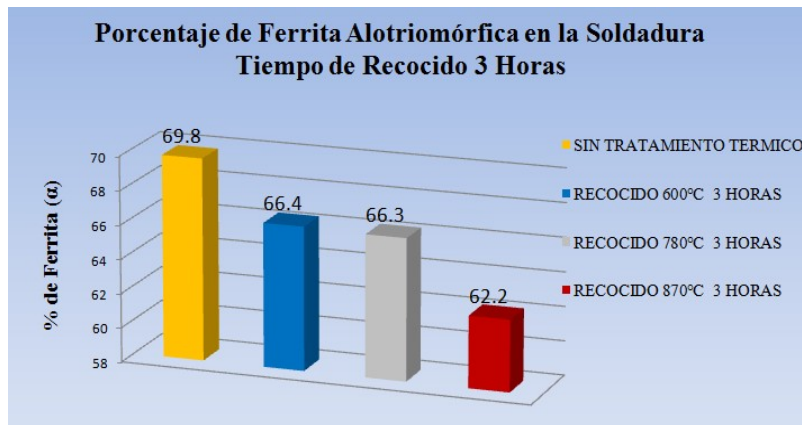


Figura 4.22 Comparación del Porcentaje de Ferrita Alotriomórfica en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido 3 horas. **Fuente:** Autor

La figura 4.22 indica que el porcentaje ferrita alotriomórfica con recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor de 66.4% un valor menor que el de las probetas sin tratamiento térmico 69.8%. A medida que aumenta la temperatura de recocido el porcentaje ferrita alotriomórfica va disminuyendo. A medida que incrementa el tiempo de recocido el contenido de ferrita alotriomórfica disminuye.

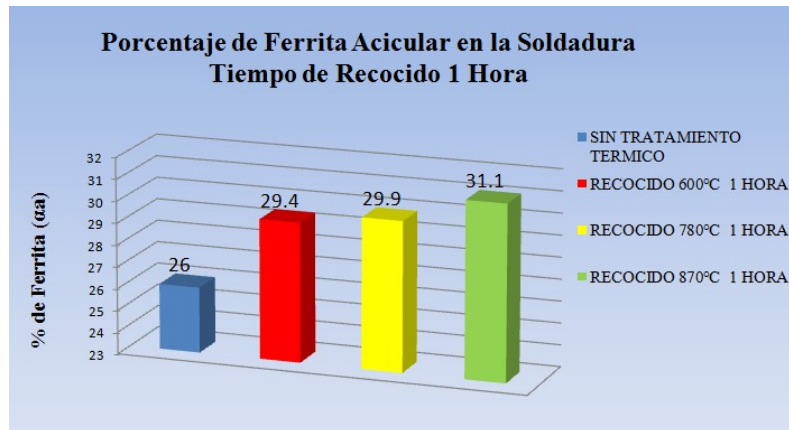


Figura 4.23 Comparación del Porcentaje de Ferrita Acicular en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido: 1 hora. **Fuente:** Autor

La figura 4.23 indica que el porcentaje ferrita acicular en el depósito de soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora, tiene un valor de 29.4% , que es mayor que las probetas sin tratamiento térmico 26%. A medida que aumenta la temperatura de recocido el porcentaje ferrita acicular va incrementándose, el mayor valor es de 31.1% para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

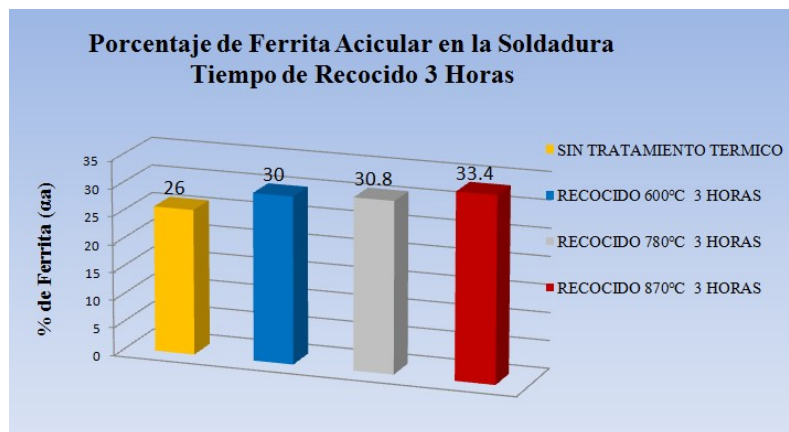


Figura 4.24 Comparación del Porcentaje de Ferrita Acicular en el depósito de soldadura, Tiempo de recocido 3 horas. **Fuente:** Autor

La figura 4.24 indica que el porcentaje ferrita acicular con recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor de 30% un valor mayor que de las probetas sin tratamiento térmico 26%. A medida que aumenta la temperatura de recocido el porcentaje ferrita acicular va incrementándose. A medida que incrementa el tiempo de recocido el contenido de ferrita acicular aumenta.

4.3.3.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

Se midió la dureza desde el centro de la soldadura, donde se pudo determinar que los mayores valores de dureza se obtuvieron a una distancia de 1mm, los menores valores a una distancia de 5 mm, la dureza tiende a estabilizarse a partir de entre 8 y 10mm.

Tabla 4.14. Resultados de dureza de juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas durante una hora. (Fuente: Autor)

	DUREZA (HB)		
	Máx (1mm)	Mín (5mm)	(10 mm)
	(HB)	(HB)	(HB)
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	182	129	145
RECOCIDO 600°C 1 HORA	182	130	164
RECOCIDO 780°C 1 HORA	158	109	122
RECOCIDO 870°C 1 HORA	124	109	110

Tabla 4.15. Resultados de dureza de juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas durante tres horas. (Fuente: Autor)

	DUREZA (HB)		
	Máx (1mm)	Mín (5mm)	(10 mm)
	(HB)	(HB)	(HB)
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	182	129	145
RECOCIDO 600°C 3 HORAS	182	135	164
RECOCIDO 780°C 3 HORAS	169	107	111
RECOCIDO 870°C 3 HORAS	133	95.5	101

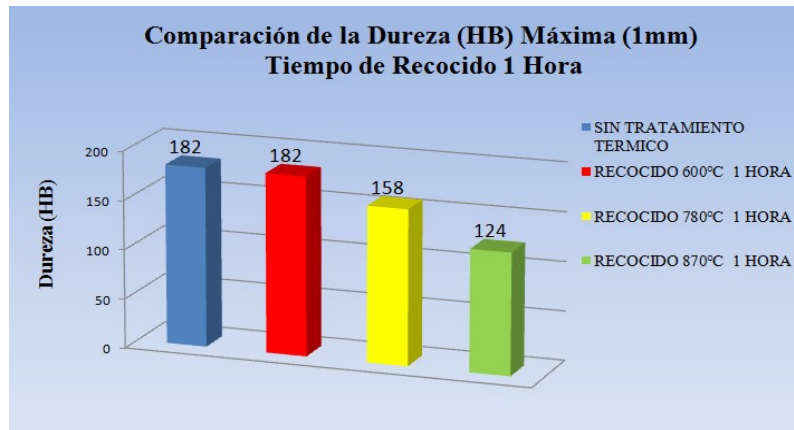


Figura 4.25 Comparación de la dureza máxima obtenida a 1mm del depósito de soldadura. Tiempo de recocido: 1 hora. **Fuente:** Autor

En la figura 4.25 se puede observar que la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora tiene un valor de dureza a 1 mm desde el centro de la soldadura de 182 Brinell parecido al de las probetas que no tiene tratamiento térmico cuyo valor es de 182 Brinell. A medida que aumenta la temperatura de recocido, la dureza va disminuyendo, el menor valor es de 124 Brinell para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

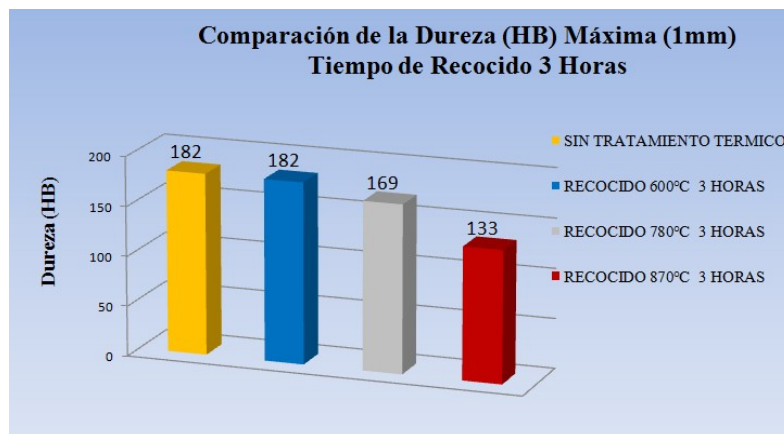


Figura 4.26 Comparación de la dureza máxima obtenida a 1mm del depósito de soldadura. Tiempo de recocido: 3 horas. **Fuente:** Autor

En la figura 4.26 se puede observar que la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor de dureza a 1 mm desde el centro de la soldadura de 182 Brinell igual al de las probetas que no tiene tratamiento térmico. A medida que aumenta la temperatura de recocido la dureza va disminuyendo.

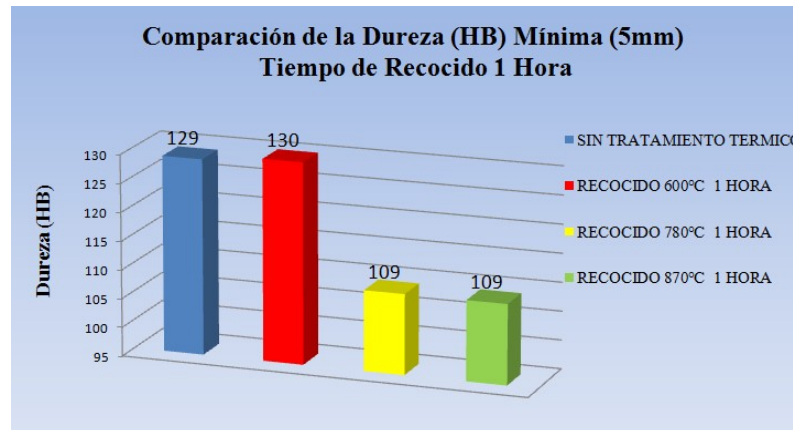


Figura 4.27 Comparación de la dureza mínima obtenida a 5 mm del depósito de soldadura. Tiempo de recocido: 1 hora. **Fuente:** Autor

En la figura 4.27 se puede observar que la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora tiene un valor de dureza a 5 mm desde el centro de la soldadura de 130 Brinell parecido al de las probetas que no tiene tratamiento térmico cuyo valor es de 129 Brinell. A medida que aumenta la temperatura de recocido, la dureza va disminuyendo, el menor valor es de 109 Brinell para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

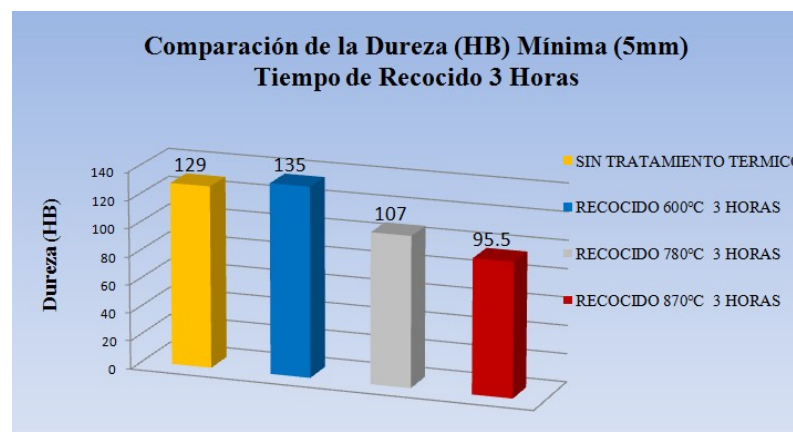


Figura 4.28 Comparación de la dureza mínima obtenida a 5 mm del depósito de soldadura. Tiempo de recocido: 3 horas. **Fuente:** Autor

En la figura 4.28 se puede observar que la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor de dureza a 5 mm desde el centro de la soldadura de 135 Brinell mayor al de las probetas que no tiene tratamiento térmico. A medida que aumenta la temperatura de recocido la dureza va disminuyendo.

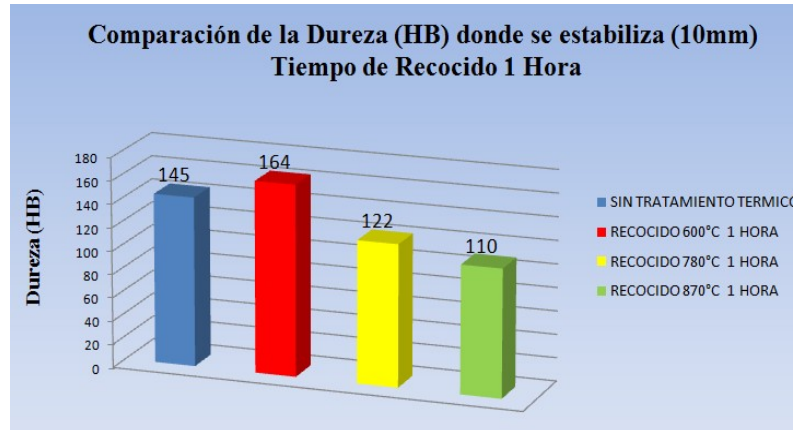


Figura 4.29 Comparación de la dureza a 10 mm del depósito de soldadura a partir de donde la dureza no tiene variación. Tiempo de recocido: 1 hora. **Fuente:** Autor.

En la figura 4.29 se puede observar que la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora tiene un valor de dureza a 10 mm desde el centro de la soldadura de 168 Brinell mayor al de las probetas que no tiene tratamiento térmico cuyo valor es de 145 Brinell. A medida que aumenta la temperatura de recocido, la dureza va disminuyendo, el menor valor es de 110 Brinell para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

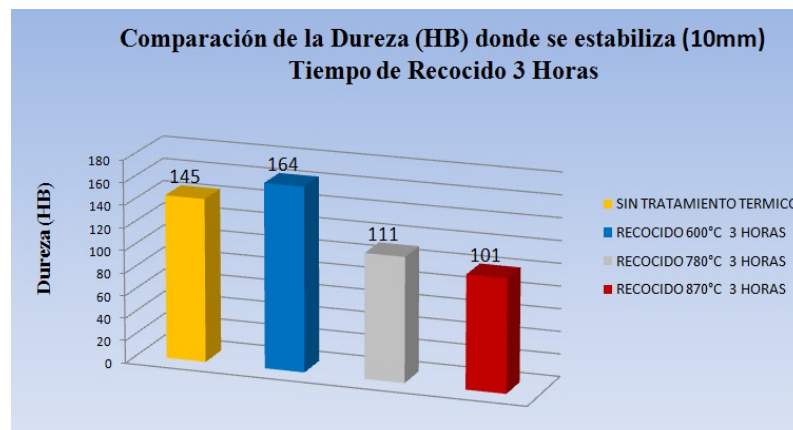


Figura 4.30 Comparación de la dureza a 10 mm del depósito de soldadura a partir de donde la dureza no tiene variación. Tiempo de recocido: 1 hora. **Fuente:** Autor.

En la figura 4.30 se puede observar que la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor de dureza a 10 mm desde el centro de la soldadura de 164 Brinell mayor al de las probetas que no tiene tratamiento térmico 145 Brinell. A medida que aumenta la temperatura de recocido la dureza va disminuyendo.

4.3.4.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO

Los resultados de los ensayos de impacto se pueden observar en las tablas 4.16 y 4.17.

Tabla 4.16. Resultados de ensayo de impacto de las juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas durante una hora. (**Fuente:** Autor)

	PROMEDIO ENERGÍA DE IMPACTO (Joules)
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	36.6
RECOCIDO 600°C 1 HORA	38.8
RECOCIDO 780°C 1 HORA	40.4
RECOCIDO 870°C 1 HORA	44.6

Tabla 4.17. Resultados de ensayo de impacto de las juntas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 recocidas durante tres horas. (**Fuente:** Autor)

	PROMEDIO ENERGÍA DE IMPACTO (Joules)
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	36.6
RECOCIDO 600°C 3 HORAS	40.8
RECOCIDO 780°C 3 HORAS	45.2
RECOCIDO 870°C 3 HORAS	50.6

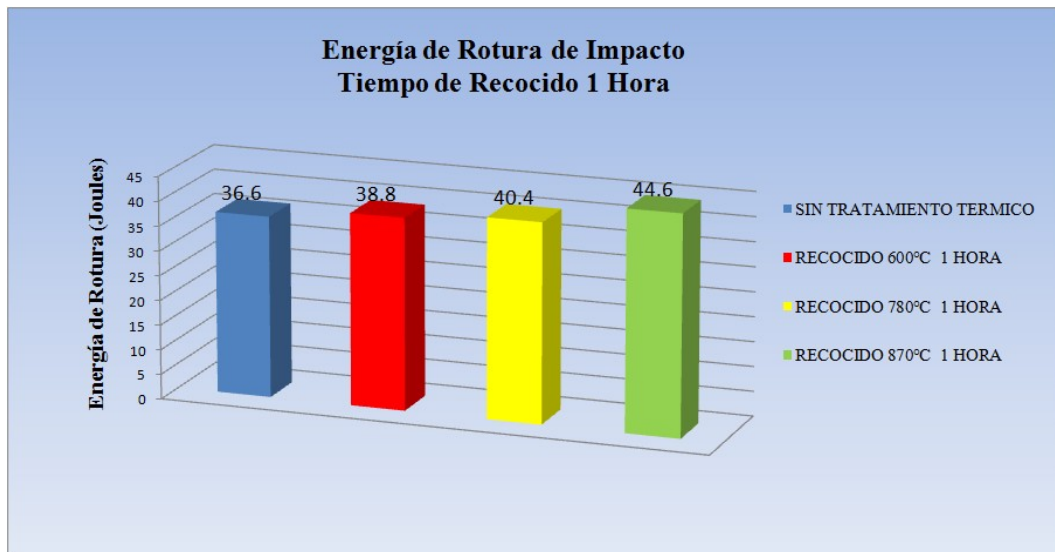


Figura 4.31 Comparación la Energía de Rotura de Impacto, Tiempo de recocido: 1 hora
Fuente: Autor

La figura 4.31 indica que la energía de rotura de impacto de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante una hora, tiene un valor promedio de 38.8 Joules, mayor que el valor promedio de las probetas sin tratamiento térmico que es de 36.6 Joules. A medida que aumenta la temperatura de recocido la energía de rotura de impacto va incrementando, el mayor valor es de 44.6 Joules para las probetas recocidas a 870°C durante una hora.

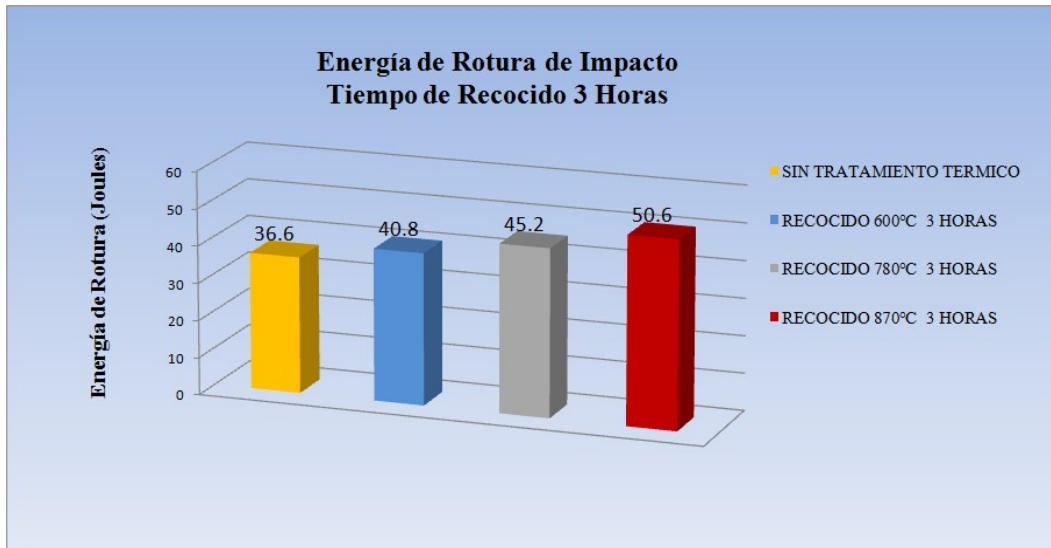


Figura 4.32 Comparación la Energía de Rotura de Impacto, Tiempo de recocido: 3 horas
Fuente: Autor

La figura 4.32 indica que la energía de rotura de impacto de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo E-7018 recocido a 600°C durante tres horas, tiene un valor promedio de 40.8 Joules, mayor que el valor promedio de las probetas sin tratamiento térmico que es de 36.6 Joules. A medida que aumenta la temperatura de recocido la energía de rotura de impacto va incrementando, el mayor valor es de 50.6 Joules para las probetas recocidas a 870°C durante tres horas.

La energía de rotura de impacto para las probetas recocidas a 600°C durante una hora como lo indica la figura 4.31 es un valor promedio de 38.8 Joules, mientras que para las probetas recocidas a 600°C durante tres horas el valor promedio es de 40.8 Joules, lo que indica que a medida que aumenta el tiempo de recocido aumenta energía de rotura de impacto.

4.4.- VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

HIPÓTESIS: El análisis de recocido en soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 permitirá alcanzar mejores propiedades mecánicas

- Una vez que se ha realizado los ensayos de tracción, metalográficos, dureza e impacto de las juntas soldadas de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 a tres temperaturas diferentes 600°C, 780°C, 870°C y a dos tiempos diferentes de permanencia en el horno una y tres horas, se puede comprobar que algunas propiedades mecánicas de la junta soldada se incrementan con el tratamiento térmico de recocido.
- Tanto la resistencia a la tracción (Sut) como la resistencia a la cedencia (Sy) tienden a mantenerse a una temperatura de recocido de 600°C en comparación con las probetas que no tiene tratamiento térmico, como muestran las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4, pero se puede notar que si se incrementa la temperatura de recocido el Sut y el Sy disminuye.
- El porcentaje de elongación se incrementa con el tratamiento térmico de recocido, lo que se puede verificar en las figuras 4.5 y 4.6, tiende a ser mayor mientras mayor temperatura de recocido se aplique.
- El porcentaje de reducción de área se incrementa también con el tratamiento térmico de recocido, verificándose en las figuras 4.7 y 4.8, lo que indica que la junta se hace más dúctil con el incremento de temperatura de recocido.
- El módulo de Young se reduce con el tratamiento térmico de recocido como se verifica en las figuras 4.9 y 4.10, pero esto implica que la junta se va haciendo más elástica a medida que se incrementa la temperatura de recocido.
- Se puede verificar en las figuras 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 y 4.30 que la dureza tiende a mantenerse y ligeramente a incrementarse a una temperatura

de recocido de 600°C, sin embargo a mayor temperatura de recocido, la dureza disminuye.

- En las figuras 4.31 y 4.32 se puede verificar que la resistencia al impacto de las juntas soldadas se incrementa significativamente con el tratamiento térmico de recocido.
- El tratamiento térmico de juntas soldadas de acero AISI 1018 que presenta la mejor combinación de propiedades mecánicas se verifica que es el realizado a 600°C durante una hora de permanencia en el horno, en donde la resistencia a la tracción S_{ut} , la resistencia a la cedencia S_y y la dureza tienden a mantenerse en relación a las probetas sin tratamiento térmico, incrementándose el porcentaje de elongación de 8.74% en las probetas sin recocido a 21.26% (Fig. 4.5) en las recocidas, el porcentaje de reducción de área pasa de 30.04% a 34.45% (Fig. 4.7) lo que indica que la junta se hace más dúctil con el tratamiento térmico, contribuyendo a disminuir la fragilidad. El módulo de Young Disminuye de 20979.8 Kg/mm² sin recocido a 20852.8 Kg/mm² con tratamiento térmico (Fig. 4.9) pero esta reducción significa incremento de elasticidad en la junta. La resistencia al impacto se incrementa de 36.6 Joules a 38.8 Joules (Fig. 4.31); Consiguiendo una junta con buena resistencia mecánica y dureza, más dúctil, más elástica y con mejor resistencia al impacto.

Por lo expuesto se verifica la hipótesis.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Una vez que se ha realizado el Análisis de Recocido en Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018 se puede anotar las siguientes conclusiones.

- Los parámetros principales que intervienen en el tratamiento térmico de recocido son la temperatura y el tiempo a los cuales se realiza el proceso, el estudio se lo realizó variando a tres temperaturas distintas y a dos tiempos de permanencia en el horno.
- La resistencia a la tracción de las juntas soldadas varía conforme varían las condiciones del tratamiento térmico, para un recocido 600 °C se comprobó que disminuye muy poco, a medida que se incrementa la temperatura de recocido, la resistencia a la tracción tiende a disminuir significativamente.
- Al incrementar el tiempo de tratamiento térmico se puede notar que la resistencia a la tracción disminuye
- La resistencia a la cedencia presenta una condición similar a la resistencia a la tracción, es decir con un recocido de 600 °C, tiene una variación poco significativa, pero a medida que se incrementa la temperatura, la resistencia a la cedencia decrece en magnitud considerable.
- Si se incrementa el tiempo de recocido la resistencia a la cedencia disminuye.

- El porcentaje de elongación se incrementa al incrementar la temperatura de recocido de las juntas soldadas en comparación a las juntas que no tienen tratamiento térmico posterior a la soldadura, lo que genera un material más dúctil.
- Al incrementar el tiempo de recocido el porcentaje de elongación de las junta soldadas también se incrementan generando juntas soldadas mucho más dúctiles que las recocidas a menor tiempo.
- Lo mismo sucede con el porcentaje de reducción de área, a medida que se incrementa la temperatura, también se incrementa el porcentaje de reducción de área y un incremento en el tiempo de recocido incrementa también el porcentaje de reducción de área lo que indica incremento de ductilidad.
- El módulo de elasticidad disminuye cuando la temperatura de recocido aumenta, pero esto significa que el material se hace más elástico siendo beneficioso obtener una junta soldada con esa característica.
- Con el incremento del tiempo de recocido disminuye el valor del módulo de elasticidad consiguiendo un material con mayor elasticidad.
- El valor del tamaño de grano ASTM en el metal base se incrementa cuando la temperatura de recocido aumenta. El valor del tamaño de grano en la ZAT toma una cantidad alta con un recocido a 780 °C, a 600 °C y 870 °C es menor. Los menores valores de tamaño de grano ASTM se producen con un recocido a 600°C durante una hora.
- El contenido de perlita en el metal base y en la ZAT disminuye cuando la temperatura de recocido aumenta lo que verifica la disminución de resistencia a la tracción cuando la temperatura aumenta.

- El porcentaje de ferrita alotriomórfica en el depósito de soldadura disminuye a medida que la temperatura aumenta, mientras que el contenido de ferrita acicular aumenta, el contenido de ferrita alotrimorfica reduce la tenacidad de la junta mientras que el contenido de ferrita acicular aumenta la tenacidad de la junta. Es por eso que a medida que aumenta la temperatura de recocido la junta se hace más dúctil y a menudo eso lo hace más tenaz.
- Los mayores valores de dureza de todas las probetas se presentan a una distancia de 1 mm del centro de la soldadura, los valores mínimos se producen a 5 mm del centro de la soldadura a partir de los 8 y 10 mm la dureza ya no tiene variaciones indicando un valor entre el máximo y el mínimo.
- A 600 °C la dureza tiende a mantenerse en comparación con las probetas sin tratamiento y en algunos casos se incrementa en pequeña cantidad, a medida que la temperatura de recocido incrementa, la dureza se reduce.
- La resistencia al impacto de las juntas soldadas se incrementa con el tratamiento térmico de recocido, a medida que aumenta la temperatura la resistencia al impacto se incrementa.
- Las mejor combinación de propiedades se puede apreciar a una temperatura de 600 °C durante una hora en donde la resistencia a la tracción, resistencia a la cedencia, dureza tienden a mantenerse en comparación con las probetas sin tratamiento térmico. En este proceso se puede notar que la ductilidad aumenta con respecto a las probetas sin tratamiento térmico, lo que reduce la fragilidad de la junta al presentarse valores mayores de elongación y reducción de área. El módulo de Young es menor, pero eso indica que la junta es más elástica. La resistencia al impacto también aumenta. Por lo tanto a 600 °C durante una hora tiende a mantenerse la resistencia mecánica y la dureza consiguiéndose un aumento la ductilidad, elasticidad y resistencia al impacto.

5.2. RECOMENDACIONES

- Al realizar los cortes de todas las probetas se debe tener cuidado de no recalentar la superficie del material, ya que podría generar cambios microestructurales lo que puede variar las propiedades de los elementos obteniéndose resultados erróneos se debe cortar con sierra a mano no utilizando discos abrasivos.
- El mecanizado de las probetas se debe realizar con la menor velocidad de corte posible, pues una velocidad alta sube la temperatura del elemento pudiendo afectarlo, con lo que se conseguirían datos erróneos.
- Para realizar la soldadura de las probetas se debe limpiar bien las superficies a soldar asegurándose que no existan residuos de aceite, pintura o impurezas.
- Al ingresar la probetas al horno de tratamiento térmico verificar que estén limpias y no tengan residuos de sustancias combustibles como gasolina, tinher o aceite que puedan inflamarse en el proceso de recocido.
- Utilizar guantes y pinzas para retirar las probetas del horno de tratamientos térmicos para evitar quemaduras.
- Posterior al tratamiento térmico verificar las roscas de las probetas de tracción para que puedan acoplarse en la máquina universal
- Al realizar el ensayo de tracción verificar el adecuado ajuste del deformímetro en la probeta de tracción, pues a medida que avanza el ensayo, éste elemento se va aflojando registrando lecturas irreales e incluso se puede llegar a soltar.

- Las probetas para el ensayo de dureza se las debe recortar lo más plano posible para poder medir el diámetro de la indentación. Si presentan inclinación la indentación se nota deformada.
- Verificar el tipo y el diámetro del penetrador del durómetro para poder determinar en la tabla de dureza Brinell la dureza resultante.
- Las probetas para el ensayo metalográfico deben estar bien planas y pulidas, pues una inclinación hace notar zonas claras y zonas oscuras, además un pulido inadecuado muestra rayaduras que vistas al microscopio se amplifican sin dejar ver claramente la microestructura.
- Manejar con precaución los reactivos de ataque químico, utilizar protección ocular y guantes.
- En el ataque químico del ensayo metalográfico tener cuidado de no quemar la superficie de la probeta, pues no se podría determinar las microestructuras.
- En el ensayo de impacto se debe tener cuidado en la manipulación del martillo, su peso podría causar daño en las extremidades superiores o inferiores del operador.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1.- DATOS INFORMATIVOS

Una vez realizado el Análisis de Recocido de Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018 se ha determinado que se obtiene una mejor combinación de propiedades mecánicas a una temperatura de recocido de 600 °C durante una hora de tratamiento térmico, en este proceso se obtiene una variación poco significativa de la resistencia a la tracción, cedencia y dureza, se incrementa la ductilidad, elasticidad y resistencia al impacto.

Constituye un aporte importante para el área de materiales, debido a que se ha determinado una temperatura y tiempo adecuado para obtener una combinación de propiedades mecánicas en las juntas soldadas para un material y electrodo específico, constituyéndose además en una base para realizar estudios posteriores para otro tipo de material base y electrodo de aporte.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua; entre los equipos que dispone el laboratorio para la elaboración de la presente investigación se puede mencionar: el horno de tratamientos térmicos, la máquina universal para el ensayo de tracción, los equipos necesarios para en ensayo metalográfico, durómetro, péndulo para ensayo de impacto que fueron útiles para realizar el análisis.

6.2.- ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Existen investigaciones anteriores acerca de recocido de soldaduras pero es complicado encontrar estudios para un material y electrodo específicos como en el caso de la presente e investigación acero AISI 1018 y electrodo AWS E-7018. En el tratamiento térmico de recocido existen variantes como el tiempo y temperatura de recocido, que no han sido analizadas con anterioridad.

Luego de realizada la investigación se ha determinado que el recocido realizado a 600°C durante una hora, genera la mejor combinación de propiedades mecánicas analizadas.

6.3.- JUSTIFICACIÓN

El proceso de recocido de juntas soldadas a 600 °C durante una hora permite alcanzar una combinación de mejores propiedades mecánicas, lo que contribuye a generar elementos mecánicos reparados de mejor desempeño de las juntas sin tratamiento térmico.

A menudo en el sector industrial se necesita reponer un elemento roto, fabricar uno lleva demasiado tiempo, en el cual se generan pérdidas económicas cuantiosas, disponer de un proceso de fabricación de soldadura con posterior tratamiento térmico para reparar el elemento colapsado contribuirá para reducir el tiempo de paros de máquinas.

Disponer de una guía para realizar los ensayos de tratamiento térmico de recocido posterior a la soldadura ayudará a los estudiantes de Ingeniería Mecánica para posteriores estudios con un material y electrodo diferente al realizado en la presente investigación.

6.4.- OBJETIVOS

6.4.1.- General

- Realizar el análisis de tratamiento térmico de recocido de juntas soldadas de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 a una temperatura de 600 °C durante una hora.

6.4.2.- Específicos

- Evaluar la resistencia a la tracción, dureza, impacto de juntas soldadas de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocido a una temperatura de 600 °C durante una hora.
- Determinar la microestructura de juntas soldadas de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocido a una temperatura de 600 °C durante una hora.
- Realizar los procedimientos de ensayo de tracción, dureza, impacto y análisis metalográfico.

6.5.- ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El presente análisis es factible de realizarlo como se puede ver en la tabla 6.6 al ser un costo manejable fue viable de hacerlo, los materiales se los puede conseguir fácilmente en el mercado nacional, existe la información necesaria y disponible, normativa con la que se cuenta, los laboratorios de Materiales de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica disponen de los equipos y las herramientas necesarias para poder realizar la presente propuesta entre ellos: el horno de tratamiento térmico que se encuentra es perfecto estado de funcionamiento, la máquina universal para ensayo de tracción, todo el aporte tecnológico del equipamiento para análisis metalográfico, microscopio, pulidora, prensa para montaje de las

probetas, reactivos químicos, el durómetro que estuvieron a disposición del presente trabajo. El recurso humano como el autor, ayudantes de laboratorio aportaron con la factibilidad de la presente propuesta.

6.6.- FUNDAMENTACIÓN

Los cálculos se realizaron fundamentados en la teoría del Capítulo II , en donde se muestra las fórmulas necesarias para la determinación de los resultados del ensayo de tracción, metalográfico y dureza.

A continuación se presentan los cálculos realizados para los ensayos de las juntas soldadas de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocidas a 600°C durante una hora.

6.6.1.- Cálculos del Ensayo de Tracción

Datos:

Probeta:	1.1
Temperatura de Recocido:	600°C
Tiempo de recocido:	1 hora
Longitud de calibración inicial:	$l_0 = 50.8 \text{ mm}$
Diámetro inicial:	$\varnothing_0 = 12.7 \text{ mm}$

Tabla 6.1 Resultados registrados del Ensayo de Tracción. (Fuente: Autor)

RESULTADOS REGISTRADOS			
Carga Máxima(Pmax):	6242 Kg	Longitud Inicial(l_0):	50.8 mm
Longitud Final(l_f) :	62 mm	Deformación Máxima:	11.2 mm
Diámetro Inicial (\varnothing_0):	12.7 mm	Diámetro Final (\varnothing_f):	10 mm

Resultados Calculados

6.6.1.1.- Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción

Área Inicial

$$A_o = \frac{\pi(\varnothing_o)^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi(12.7)^2}{4}$$

$$A_o = 126.67 \text{ mm}^2$$

Área Final

$$A_f = \frac{\pi(\varnothing_f)^2}{4}$$

$$A_f = \frac{\pi(10)^2}{4}$$

$$A_f = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o}$$

$$S_{ut} = \frac{6242}{126.67}$$

$$S_{ut} = 49.27 \text{ Kg/mm}^2$$

6.6.1.2.- Cálculo de la Resistencia a la Cedencia

La deformación plástica se elige el límite elástico cuando tiene lugar un 0.2% de deformación plástica (0.002 mm/mm).²⁵

²⁵GONZALES, Wenceslao y MARCINI Héctor. Ingeniería de Materiales y Estructuras.

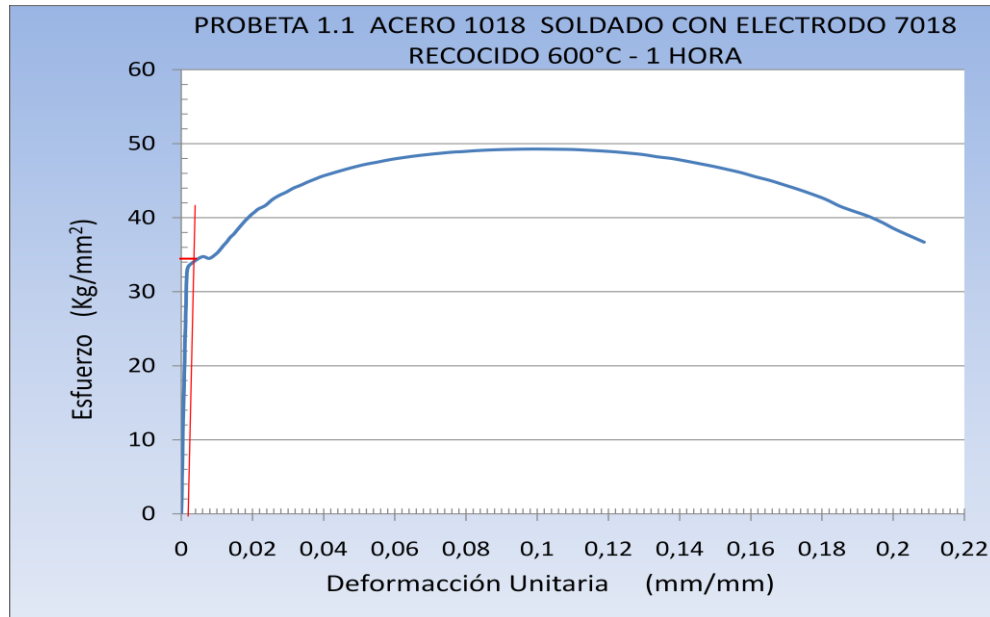


Figura 6.1 Determinación del límite elástico convencional al 0.2% de deformación en la probeta 1.1 de junta de acero AISI 1018 soldado con electrodo AWS E7018 recocido a 600°C durante una hora

Fuente: Autor

En la Figura 6.1 se puede observar que la resistencia a la cedencia (S_y). Tiene un valor aproximado de 49.27 Kg/mm².

6.6.1.3.- Cálculo del porcentaje de elongación

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

$$\%EL = \left(\frac{62 - 50.8}{50.8} \right) \times 100$$

$$\%EL = 22.05\%$$

6.6.1.4.- Cálculo del porcentaje de reducción de área

$$\%AR = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100$$

$$\%AR = \left(\frac{126.67 - 78.54}{126.67} \right) \times 100$$

$$\%AR = 38\%$$

6.6.1.5.- Cálculo del Módulo de Young.

El Cálculo del módulo de Young se realizó de acuerdo a la norma E111:97 (ANEXO B2)

$$\text{Módulo de Young, } E = \frac{(\sum(XY) - K\bar{X}\bar{Y})}{\sum X^2 - K\bar{X}^2}$$

Donde: Y = Esfuerzo Axial Aplicado, X = Deformación correspondiente, en términos de la carga P_i y la medida de área, Original A_0 y la longitud inicial l_0 , K= Número de pares XY

$$X = \frac{\Delta l}{L_0} \quad y = \frac{\Delta p}{A_0}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{K}; \text{ promedio de valores } Y \quad \bar{X} = \frac{\sum X}{K}; \text{ promedio de valores } X$$

Tabla 6.2 Parámetros calculados para determinar el módulo de elasticidad (Fuente: Autor)

	X	Y	XY	X ²
	Kg/mm ²	mm/mm		
	0.000000	0.00	0.000000	0.00000000
	0.000098	1.58	0.000155	0.00000001
	0.000177	3.16	0.000559	0.00000003
	0.000197	4.74	0.000932	0.00000004
	0.000295	6.32	0.001865	0.00000009
	0.000354	7.89	0.002797	0.00000013
	0.000394	9.47	0.003729	0.00000016
	0.000433	11.05	0.004786	0.00000019
	0.000512	12.63	0.006464	0.00000026
	0.000591	14.21	0.008391	0.00000035
	0.000689	15.79	0.010878	0.00000047
	0.000787	17.37	0.013675	0.00000062
	0.000827	18.95	0.015664	0.00000068
	0.000945	20.52	0.019393	0.00000089
	0.000984	22.10	0.021755	0.00000097
	0.001043	23.68	0.024708	0.00000109
	0.001181	25.26	0.029836	0.00000140
	0.001220	26.84	0.032757	0.00000149
	0.001339	28.42	0.038041	0.00000179
	0.001378	30.00	0.041335	0.00000190
	0.001476	31.58	0.046619	0.00000218
PROMEDIO	0.000711	15.79	0.015445	0.00000070
SUMATORIA	0.014921	331.55	0.324342	0.00001473
K=	21	21	21	21

$$\text{Módulo de Young, } E = \frac{(0.324342 - 21(0.000711))(15.79)}{0.00001473 - 21(0.000711)^2}$$

$$\text{Módulo de Young, } E = 21509 \text{ Kg/mm}^2$$

6.6.2.- Cálculos del Ensayo Metalográfico

6.6.2.1.- Determinación del Tamaño de Grano

El tamaño de grano fue determinado mediante la norma ASTM E-112:96 utilizando el método planimétrico. (ANEXO B3)

En el material base de la junta de acero AISI 1018 soldada con electrodo AWS E-7018 recocido a 600°C durante una hora

Contando los granos a una magnificación de 200X se obtuvo que:

Granos interiores $N_i = 23$

Granos interceptados $N_{int} = 7$

$$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = 8 \left(23 + \frac{7}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 26.5 = 212$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(212) - 2.954 = 4.77$$

El tamaño de grano ASTM es 4.77

En la Zona Térmicamente Afectada de la junta de acero AISI 1018 soldada con electrodo AWS E-7018 recocido a 600°C durante una hora

Contando los granos a una magnificación de 200X se obtuvo que:

Granos interiores $N_i = 59$

Granos interceptados $N_{int} = 29$

$$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = 8 \left(59 + \frac{29}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 73.5 = 588$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(588) - 2.954 = 6.24$$

El tamaño de grano ASTM es 6.24

En el Depósito de soldadura de la junta de acero AISI 1018 soldada con electrodo AWS E-7018 recocido a 600°C durante una hora

Contando los granos a una magnificación de 200X se obtuvo que:

Granos interiores $N_i = 78$

Granos interceptados $N_{int} = 15$

$$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = 8 \left(78 + \frac{15}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200x)

$$NA = 8 * 85.5 = 684$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3,321918 * \log(684) - 2.954 = 6.46$$

6.6.2.2.- Determinación del porcentaje de los componentes microestructurales

En el ensayo de metalográfico se utilizó software especializado el que ayuda a determinar el porcentaje de elementos constituyentes.

En el material base

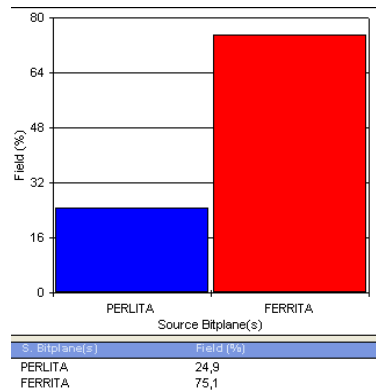


Figura 6.2 Componentes microestructurales en el metal base de la junta de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de recocido a 600°C durante una hora.

Fuente: Autor

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 600 °C por una hora, Figura 6.2, se puede indicar que los componentes de material base son: 75.1% de Ferrita y 24.9% de Perlita.

En la ZAT

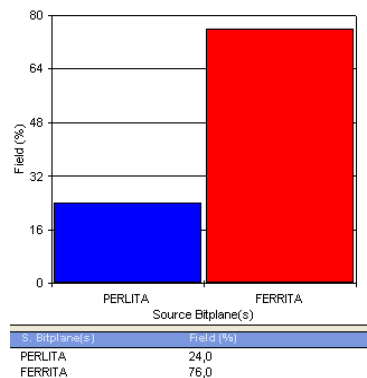


Figura 6.3 Componentes microestructurales la ZAT de la junta de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de recocido a 600°C durante una hora.

Fuente: Autor

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 600 °C por una hora Figura 6.3, se puede indicar que los componentes de la zona térmicamente afectada son: 76% de Ferrita y 24% de Perlita.

En el depósito de soldadura

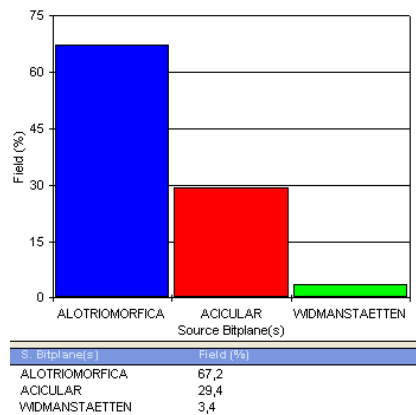


Figura 6.4 Componentes microestructurales de depósito de soldadura de la junta de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de recocido a 600°C durante una hora

Fuente: Autor

Revisada la microestructura de la junta soldada de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 recocida a 600 °C por una hora , se puede indicar que los componentes de la zona de soldadura son: 67.2% de Ferrita Alotriomórfica (α), 29.4 % de Ferrita Acicular ($\alpha\alpha$), y 3.4% de Ferrita de Widmanstaetten (αw).

6.6.3.- Cálculos del Ensayo de Dureza

Datos:

Diámetro del Identador (D) : 2.5mm

Fuerza aplicada (F) : 1839 N = 187.5 Kg

$$HB = \frac{F}{\left(\frac{\pi}{2}\right) D(D - \sqrt{D^2 - Di^2})}$$

Donde F es la carga aplicada en kilogramos, D es el diámetro del penetrador en mm, y Di es el diámetro de la impresión en mm.

$$HB = \frac{187.5}{\left(\frac{\pi}{2}\right) 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - 1.175^2})} = 163$$

Tabla 6.3 Determinación de la dureza para las juntas de acero AISI 1018 soldada con electrodo AWS E-7018 recocido a 600°C durante una hora. (**Fuente:** Autor)

Di (mm)	Dureza (Brinell)
1.175	163
1.115	182
1.2175	151
1.265	139
1.3025	130
1.1725	164
1.1725	164
1.1725	164



6.6.4.- Registros del Ensayo de Impacto

Tabla 6.4 Resultados del ensayo de impacto para las juntas de acero AISI 1018 soldada con electrodo AWS E-7018 recocido a 600°C durante una hora. (**Fuente:** Autor)

PROBETAS	ENERGÍA DE IMPACTO (Joules)
1.8	39
1.9	37
1.10	38
1.11	41
1.12	39
PROMEDIO	38.8

6.7.- METODOLOGÍA

6.7.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Procedimiento para Realizar el Ensayo de Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora</p>	
Código: PR-ET-01	Fecha de Elab: 27/09/2012	Revisión: 00
Elaborado por : Ing. Henry Vaca	Revisado por : Ing. Henry Vaca	Aprobado por : Ing. Mg. Pablo Valle
<p>1.- OBJETIVO.</p> <p>Determinar las Propiedades Mecánicas de Tracción de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de Recocido.</p> <p>2.- ALCANCE.</p> <p>Este procedimiento sirve para realizar el ensayo de Tracción de probetas de soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de Recocido a 600°C por una Hora.</p> <p>3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.</p> <p>La normativa utilizada comprende AWS B4.0:2007, ASTM E 8:04, E 111:97 que se refiere a Métodos para Ensayos Mecánicos de Soldadura, Ensayo de Tracción y Determinación de Módulo de Young respectivamente.</p> <p>4.- GENERALIZACIÓN.</p> <p>El ensayo de tracción sirve para determinar las Propiedades Mecánicas de Tracción de los materiales, entre los cuales se incluye resistencia a la tracción (Sut), resistencia a la cedencia (Sy), porcentaje de elongación (%El), porcentaje de reducción de área y Módulo de Young (E). Para el caso de la soldadura se busca determinar mencionados parámetros en juntas tratadas térmicamente mediante recocido a 600°C por una hora.</p>		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

5.- REALIZACIÓN.

Para realizar el ensayo de tracción de la probeta recocida a 600°C por una hora se realiza los siguientes pasos:

- Preparación de la probeta.
- Recocido de la probeta.
- Ensayo Mecánico de Tracción.
- Evaluación de Resultado.

5.1.- PREPARACIÓN DE LA PROBETA.

Probetas de acero AISI 1018 como viene de fábrica.



Figura 6.5 Ejes de acero AISI 1018 (Fábrica)

Fuente: Autor

5.1.1.- Mecanizado de las probetas.

Se realiza el mecanizado de las probetas, las mismas q deben ser según las especificaciones ASTM E8:04 espécimen 01 (Anexo B.1), AWS B4 Anexo B.7)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle



Figura 6.6 Corte de las probetas de acero AISI 1018
Fuente: Autor

5.1.2.-Soldadura de las probetas.

Para soldar las probetas deben estar debidamente preparadas, se utiliza electrodos AWS E-7018.



Figura 6.7 Electrodo AWS E-7018 (ANEXO A.2)
Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

Soldadura de las probetas con juntas a tope según WPS (Anexo A.5).



Figura 6.8 Soldadura de las probetas
Fuente: Autor

Una vez soldadas las probetas se las deja enfriar a temperatura ambiente.



Figura 6.9 Probetas soldadas
Fuente: Autor

Una vez soldadas las probetas se las deja enfriar a temperatura ambiente.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle



Figura 6.10 Probetas soldadas

Fuente: Autor

Probetas listas para realizar el maquinado.



Figura 6.11 Probetas soldadas para maquinado

Fuente: Autor

Realizar el maquinado según especificaciones ASTM E 8-04 espécimen 01

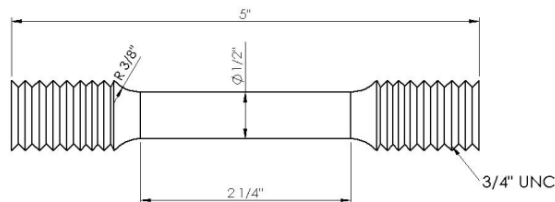


Figura 6.12 Medidas de las probetas para maquinado

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

El maquinado de las probetas se las realiza utilizando un torno.

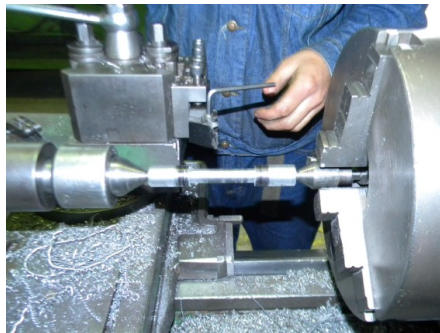


Figura 6.13 Maquinado de las probetas según especificaciones ASTM E8:04 especimen 01
Fuente: Autor

Probetas maquinadas listas para realizar el siguiente paso que es el recocido.



Figura 6.14 Probetas listas para realizar el recocido
Fuente: Autor

5.2.- RECOCIDO DE LA PROBETA.

Se debe preparar el horno para tratamientos térmicos en este estudio se realiza el Recocido a 600°C.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle



Figura 6.15 Horno para realizar tratamientos térmicos.

Fuente: Autor

El horno debe llegar a una temperatura de 600°C, según diagrama de tratamiento de la Figura 6.16

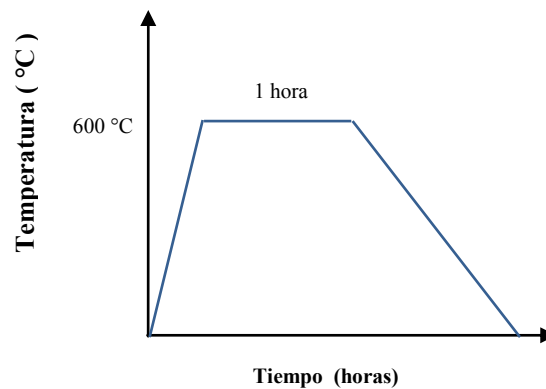


Figura 6.16 Diagrama de Tratamiento

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

Colocar las probetas en el horno para tratamientos térmicos desde que el horno está a temperatura ambiente hasta llegar a los 600 °C .



Figura 6.17 Horno con las probetas para el recocido
Fuente: Autor

Retirar las probetas del horno una vez transcurrido el tiempo de permanencia según el diagrama de tratamiento de la Figura 6.16, aquí se observa una capa de corrosión superficial propia del tratamiento térmico.



Figura 6.18 Probetas recocidas
Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

5.3.- ENSAYO MECÁNICO DE TRACCIÓN.

Con las probetas recocidas se procede a realizar el ensayo de tracción en la Máquina Universal.



Figura 6.19 Máquina Universal TiniusOlsen capacidad 30 ton.

Fuente: Autor

Para colocar la probeta en la máquina universal se debe marcar las señales en donde se debe poner el deformímetro.



Figura 6.20 Marcas calibradas para colocar el deformímetro.

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

Colocar la probeta en los acoples de la máquina universal.



Figura 6.21 Probeta colocada en la Máquina Universal.

Fuente: Autor

Aplicar la carga a la probeta y tomar las mediciones en el deformímetro para la posterior tabulación de los resultados.



Figura 6.22 Toma de datos en la Máquina Universal.

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

Retirar la probeta deformada de los acoples de la máquina universal.



Figura 6.23 Probeta deformada.
Fuente: Autor

5.4.- EVALUACIÓN DE RESULTADO

Una vez que la probeta ha sido deformada se procede a calibrarla para los posteriores cálculos.



Figura 6.24 Probeta deformada para calibrar.
Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Tracción de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ET-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

El ensayo de tracción muestra los siguientes resultados:

Tabla 6.5. Resultados de los ensayos de tracción de las probetas de acero AISI 1018 soldadas con electrodo E-7018 Recocidas a 600°C durante 1 hora.

Fuente:Autor

	Sut (Kg/mm²)	Sy (Kg/mm²)	EL %	Red. Area %	Módulo de Young (Kg/mm²)
PROBETA 1.1	49.27	34.10	22.05	38.00	21509.00
PROBETA 1.2	44.57	32.00	19.09	31.64	20786.00
PROBETA 1.3	46.78	32.00	20.08	32.94	20252.00
PROBETA 1.4	45.52	34.00	22.05	38.00	20161.00
PROBETA 1.5	48.56	34.00	23.03	31.64	21556.00
PROMEDIO	46.94	33.22	21.26	34.45	20852.80

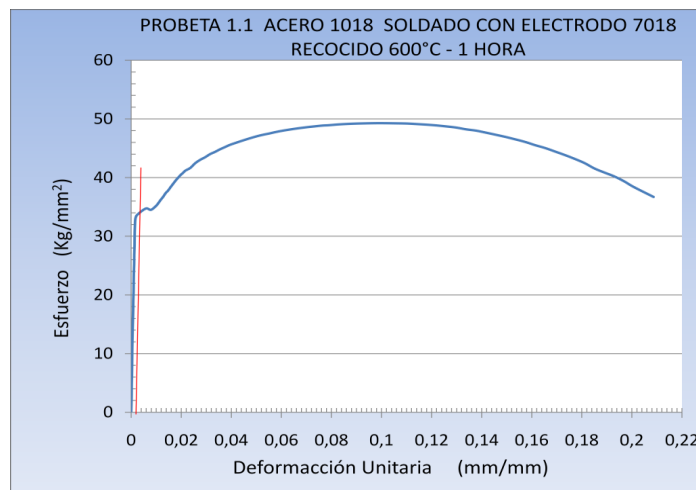







Figura 6.25 Gráfico Esfuerzo-Deformación

Fuente: Autor

6.7.2.- ENSAYO METALOGRÁFICO

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Procedimiento para Realizar el Ensayo Metalográfico de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora</p>	
Código: PR-EM-01	Fecha de Elab: 27/09/2012	Revisión: 00
Elaborado por : Ing. Henry Vaca	Revisado por : Ing. Henry Vaca	Aprobado por : Ing. Mg. Pablo Valle
<p>1.- OBJETIVO.</p> <p>Realizar el análisis metalográfico de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de Recocido.</p> <p>2.- ALCANCE.</p> <p>Este procedimiento sirve para realizar el ensayo Metalográfico de probetas de soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de Recocido a 600°C por una Hora.</p> <p>3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.</p> <p>La normativa utilizada comprende ASTM E 3-01, ASTM E 112-96 que se refiere a la Preparación de las probetas para realizar el ensayo Metalográfico y para medir el tamaño de Grano respectivamente.</p> <p>4.- GENERALIZACIÓN.</p> <p>El ensayo de Metalográfico sirve para determinar los porcentajes de los componentes microestructurales, el tamaño de grano ASTM, propiedades que se relacionan con las físicas y mecánicas, para la soldadura en juntas tratadas térmicamente mediante recocido a 600°C por una hora.</p> <p>5.- REALIZACIÓN.</p> <p>Para realizar el ensayo metalográfico de la probeta recocida a 600°C por una</p>		

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Procedimiento para Realizar el Ensayo Metalográfico de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora	
Código: PR-EM-01	Fecha de Elab: 27/09/2012	Revisión: 00
Elaborado por : Ing. Henry Vaca	Revisado por : Ing. Henry Vaca	Aprobado por : Ing. Mg. Pablo Valle
<p>hora se realiza los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Preparación de la probeta. - Preparación metalográfica de la superficie. - Ataque químico de la superficie. - Evaluación de Resultado. <p>5.1.- PREPARACIÓN DE LA PROBETA.</p> <p>Para este ensayo la probeta debe estar soldada utilizando dos placas de acero AISI 1018, con electrodo AWS E-7018, las juntas deben ser a tope según WPS (Anexo A.6).</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Figura 6.26 Placas de acero AISI 7018 Fuente: Autor</p> <p>Para el análisis metalográfico se prepara la probeta la cual debe estar perfectamente plana, en este caso se tiene la ayuda de una fresadora como se muestra en la Figura 6.27</p>		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo
Metalográfico de Probetas Recocidas a 600°C 1
Hora



Código: PR-EM-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle



Figura 6.27 Fresadora utilizada para la preparación de la probeta
Fuente: Autor

Con la probeta preparada se realiza el tratamiento térmico de recocido a la temperatura de 600°C por una hora de permanencia en el horno de tratamientos térmicos según especificaciones en el proceso anterior y utilizando el diagrama de tratamiento de la Figura 6.16.



Figura 6.28 Probetas recocidas a 600°C por una hora
Fuente: Autor

Una vez recocida la probeta y la superficie esté completamente plana se procede a montarla en baquelita para facilidad de manipulación y observación utilizando una prensa hidráulica manual.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo
Metalográfico de Probetas Recocidas a 600°C 1
Hora



Código: PR-EM-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle



Figura 6.29 Montaje de la probeta en la prensa hidráulica manual.
Fuente: Autor

5.2.- PREPARACIÓN METALGRÁFICA DE LA SUPERFICIE.

Con la probeta colocada en la baquelita se realiza la preparación de la superficie para el análisis metalográfico.



Figura 6.30 Montaje de la probeta en baquelita.
Fuente: Autor

Utilizando un banco de lijas se realiza un desbaste grueso utilizando lijas de 60, 80, 100 el proceso se lo realiza en un solo sentido no se debe girar la probeta. En este proceso se trata de retirar las impurezas de la superficie, como pueden



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo
Metalográfico de Probetas Recocidas a 600°C 1
Hora



Código: PR-EM-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

ser rebabas o deformaciones provocadas por el corte. Utilizando como lubricante agua para evitar la elevación de la temperatura.



Figura 6.31 Desbaste grueso
Fuente: Autor

Seguido se realiza el desbaste fino utilizando lijas de 240-320-400-600 granos por pulgada, para remover las zonas deformadas causadas por el desbaste grueso, los granos abrasivos producen nuevas deformaciones estas deben ser lo más pequeñas posibles.



Figura 6.32 Desbaste fino
Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo
Metalográfico de Probetas Recocidas a 600°C 1
Hora



Código: PR-EM-01	Fecha de Elab: 27/09/2012	Revisión: 00
Elaborado por : Ing. Henry Vaca	Revisado por : Ing. Henry Vaca	Aprobado por : Ing. Mg. Pablo Valle

Se realiza la operación de pulido utilizando una pulidora de discos con paños, la misma debe girar a 170 rpm para optimizar la operación, es un etapa muy importante pues la superficie debe quedar totalmente plana y brillante, se utiliza como abrasivo alúmina de 0,05 – 0,3 micras de tamaño promedio en suspensión en agua.



Figura 6.33 Pulido de la probeta
Fuente: Autor

5.3.- ATAQUE QUÍMICO DE LA SUPERFICIE.

Cuando la superficie está completamente pulida se realiza el ataque químico para hacer visible al microscopio metalográfico las características estructurales acero tratado.



Figura 6.34 Probetas listas para el Ataque Químico
Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo
Metalográfico de Probetas Recocidas a 600°C 1
Hora



Código: PR-EM-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

Se utiliza el reactivo Nital 4 el mismo que permite poner en evidencia la microestructura de la probeta tratada térmicamente, el ataque debe durar por 7 segundos.



Figura 6.35 Ataque Químico con reactivo Nital 4
Fuente: Autor

Transcurrido los 7 segundos del ataque químico se moja la superficie con un chorro de agua, para evitar que la misma se quemé luego se deja que seque a temperatura ambiente.



Figura 6.36 Probetas lista para el análisis
Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo
Metalográfico de Probetas Recocidas a 600°C 1
Hora



Código: PR-EM-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

5.4.-EVALUACIÓN DE RESULTADO.

Con la ayuda del sistema de circuito cerrado de televisión se observa la microestructura de las probetas de acero tratado.



Figura 6.37 Sistema de circuito cerrado
Fuente: Autor

En el monitor se puede ver la presencia de las microestructuras del acero para posteriores cálculos.



Figura 6.38 Observación de microestructuras
Fuente: Autor





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo
Metalográfico de Probetas Recocidas a 600°C 1
Hora



Código: PR-EM-01	Fecha de Elab: 27/09/2012	Revisión: 00
Elaborado por : Ing. Henry Vaca	Revisado por : Ing. Henry Vaca	Aprobado por : Ing. Mg. Pablo Valle

Se debe evaluar los porcentajes de los componentes presentes en el acero tratado su microestructura y tamaño de grano según las especificaciones de la norma ASTM E 112:96

6.7.3.- ENSAYO DE DUREZA

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Procedimiento para Realizar el Ensayo de Dureza de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora</p>	
Código: PR-ED-01	Fecha de Elab: 27/09/2012	Revisión: 00
Elaborado por : Ing. Henry Vaca	Revisado por : Ing. Henry Vaca	Aprobado por : Ing. Mg. Pablo Valle
<p>1.- OBJETIVO.</p> <p>Realizar el Ensayo de Dureza de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de Recocido.</p> <p>2.- ALCANCE.</p> <p>Este procedimiento sirve para realizar el Ensayo de Dureza de probetas de soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de Recocido a 600°C por una Hora.</p> <p>3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.</p> <p>La normativa utilizada comprende ASTM E 10-01 que se refiere al Método para realizar el Ensayo de Dureza Brinell.</p> <p>4.- GENERALIZACIÓN.</p> <p>El ensayo de dureza mide la resistencia del acero a la penetración de un indentador de diámetro de 2.5mm, la profundidad hasta la cual penetra este material entrega un valor, el que está tabulado, obteniéndose así la medida de la dureza de la soldadura en juntas tratadas térmicamente mediante recocido a 600°C por una hora.</p> <p>5.- REALIZACIÓN.</p> <p>Para realizar el Ensayo de Dureza de la probeta recocida a 600°C por una hora</p>		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Dureza de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ED-01	Fecha de Elab: 27/09/2012	Revisión: 00
Elaborado por : Ing. Henry Vaca	Revisado por : Ing. Henry Vaca	Aprobado por : Ing. Mg. Pablo Valle

se realiza los siguientes pasos:

- Preparación de la probeta.
- Calibración del durómetro.
- Ejecución del Ensayo de dureza.
- Evaluación de Resultado.

5.1.- PREPARACIÓN DE LA PROBETA.

Se realiza la soldadura de la probeta según el WPS (Anexo A.6), posteriormente se realiza el recocido a 600°C por una hora. De igual manera la probeta es sometida a todos los procesos para obtener una superficie totalmente plana para ejecutar el ensayo de dureza.



Figura 6.39 Preparación de las Probetas
Fuente: Autor



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Dureza de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora**



Código: PR-ED-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

5.2.- CALIBRACIÓN DEL DURÓMETRO.

El durómetro utilizado en el ensayo se lo calibra para su posterior utilización, se aplica el indentador procurando no golpearlo pues la punta es frágil.



Figura 6.40 Durómetro
Fuente: Autor

5.3.-EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE DUREZA.

Se coloca la probeta a medir en el centro de la base del Durómetro.



Figura 6.41 Aplicación de la probeta en el Durómetro
Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Dureza de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ED-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

Aplicar la carga necesaria en este caso es de 1839 kgf. Observar con la lupa de medición el diámetro de indentación y luego transformar de acuerdo a las tablas que son parte del manual del equipo utilizado (Anexo A.4).



Figura 6.42 Tablero Indicador del Durómetro
Fuente: Autor

Las mediciones de dureza son tomadas a 0-1-2-3-5-8-10-15 mm desde el centro del cordón de la soldadura.



Figura 6.43 Mediciones desde el centro de la Soldadura
Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Dureza de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-ED-01	Fecha de Elab: 27/09/2012	Revisión: 00
Elaborado por : Ing. Henry Vaca	Revisado por : Ing. Henry Vaca	Aprobado por : Ing. Mg. Pablo Valle

5.4.-EVALUACIÓN DE RESULTADO.

Según las mediciones de la dureza realizadas durante el ensayo se indica una gráfica de tabulación, la cual muestra como aumenta y disminuye la dureza a medida q se aleja del centro del cordón de soldadura.

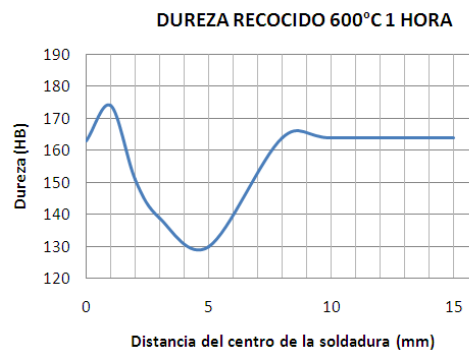


Figura 6.44 Curva característica de la dureza a medida q se aleja del centro de la soldadura.

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Impacto de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-EI-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

1.- OBJETIVO.

Realizar el Ensayo de Impacto de la soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de Recocido.

2.- ALCANCE.

Este procedimiento sirve para realizar el Ensayo de Impacto de probetas de soldadura de acero AISI 1018 con electrodo AWS E-7018 con tratamiento térmico de Recocido a 600°C por una Hora.

3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.

La normativa utilizada comprende ASTM E 23:02 que se refiere al Método para realizar el Ensayo de Impacto.

4.- GENERALIZACIÓN.

El ensayo de impacto mide la resistencia la resistencia de la junta soldada bajo la aplicación súbita de una carga

5.- REALIZACIÓN.

Para realizar el Ensayo de Impacto de la probeta recocida a 600°C por una hora se realiza los siguientes pasos:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Impacto de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-EI-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle

- Preparación de la probeta.
- Ejecución del Ensayo de Impacto.
- Evaluación de Resultado.

5.1.- PREPARACIÓN DE LA PROBETA.

Se realiza el maquinado de la probeta según las especificaciones de la norma ASTM 23:02 (ANEXO B6) pág 2. probeta tipo A, luego se realiza el recocido a 600°C por una hora de permanencia en el horno de tratamientos térmicos.



Figura 6.45 Probetas preparadas para realizar el ensayo de Impacto según ASTM 23:02 (ANEXO B6)

Fuente: Autor

5.2.- EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE IMPACTO.

Una vez que la probeta está preparada se procede a colocar en la base del péndulo Charpy, la misma debe quedar perfectamente anclada en los soportes del mismo.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Impacto de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-EI-01

Fecha de Elab: 27/09/2012

Revisión: 00

Elaborado por :
Ing. Henry Vaca

Revisado por :
Ing. Henry Vaca

Aprobado por :
Ing. Mg. Pablo Valle



Figura 6.46 Péndulo Charpy
Fuente: Autor



Figura 6.47 Probeta anclada al péndulo Charpy
Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Procedimiento para Realizar el Ensayo de
Impacto de Probetas Recocidas a 600°C 1 Hora



Código: PR-EI-01	Fecha de Elab: 27/09/2012	Revisión: 00
Elaborado por : Ing. Henry Vaca	Revisado por : Ing. Henry Vaca	Aprobado por : Ing. Mg. Pablo Valle

Cuando la probeta está anclada al péndulo Charpy se suelta el martillo donde se transforma la energía potencial en energía cinética , golpeando la probeta y rompiéndola. En ese instante se toma la medida que se indica en el visor de la máquina.



Figura 6.48 Probeta ensayada
Fuente: Autor

5.3.- EVALUACIÓN DE RESULTADO.

Se tabulan todos los datos recogidos durante el ensayo de impacto.

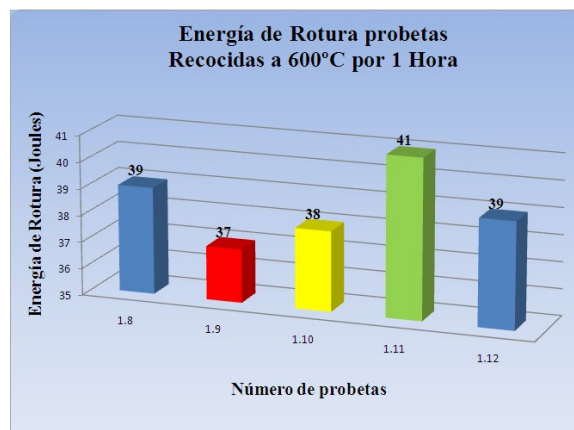


Figura 6.49 Resultados de Probetas ensayadas
Fuente: Autor

6.8.- ADMINISTRACIÓN

El análisis económico de la propuesta se presenta en la tabla 6.4 en donde se desglosan los materiales y recursos utilizados:

Tabla 6.6 Desglose del costo de la investigación. (Fuente: Autor)

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
MATERIALES					
1	Acero AISI 1018 (3/4	36	Kg	\$3.50	\$126.00
2	Electrodos AWS E-7018	5	Kg	\$3.50	\$17.50
3	Sierra SANDFLEX	1	u	\$18.00	\$18.00
4	Cuchillaparamecanizar	1	u	\$10.00	\$10.00
5	Equipos de protección personal	1	u	\$20.00	\$20.00
6	Arco de Sierra	1	u	\$12.00	\$12.00
7	Soldadura de las probetas	1	u	\$300.00	\$300.00
8	Mecanizado de las probetas	1	u	\$950.00	\$950.00
9	Nital 4 (Ataque Quimico)	1	frasco	\$10.00	\$10.00
10	Bakelita	100	ml	\$0.30	\$30.00
11	Alúmina	1	lb	\$180.00	\$180.00
12	Piegos de lija #240	4	u	\$0.80	\$3.20
13	Piegos de lija #320	4	u	\$0.80	\$3.20
14	Piegos de lija #400	4	u	\$0.80	\$3.20
15	Piegos de lija #400	4	u	\$0.80	\$3.20
TOTAL MATERIALES					\$1,686.30
RECURSOS HUMANOS					
16	Remuneración autor	1	u	\$400.00	\$400.00
17	Derecho de tutor	1	u	250	\$250.00
18	Tornero	1	u	60	\$60.00
19	Fresador	1	u	50	\$50.00
20	Soldador	1	u	50	\$50.00
TOTAL RECURSOS HUMANOS					\$810.00
VARIOS					
21	Material de oficina	1	u	\$250.00	\$250.00
22	Internet	1	u	\$30.00	\$30.00
23	Transporte	1	u	\$100.00	\$100.00
24	Impresión y Empastado	1	u	\$200.00	\$200.00
TOTAL VARIOS					\$580.00
TOTAL					\$3,076.30

6.9.- PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez concluido el presente trabajo investigativo se ha podido determinar que el proceso de recocido que mejor combinación de propiedades alcanza es el realizado a 600 °C durante una hora.

La investigación constituye un aporte importante al Area de Materiales debido a que se ha determinado un proceso de recocido adecuado que pueda ser aplicado a la reparación de ejes en el campo industrial, en donde puede colapsar los mencionados elementos de acero AISI 1018 y se los puede recuperar por medio de soldadura con tratamiento térmico posterior a la soldadura, disminuyendo los tiempos de parada de una máquina por reparación, en comparación a fabricar un eje nuevo.

Es importante destacar que los ensayos se realizaron en su totalidad en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Esta investigación puede servir de referencia para posteriores investigaciones con otro tipo de material y electrodo distinto, para determinar los mejores parámetros de recocido para esas juntas específicas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- ASKELAND, Donald. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Tercera Edición. Tompson Editores.
- 2.- AVALLONE, E. y BAUMEISTER, T. 1995. Marks Manual del Ingeniero Mecánico. 9 ed. México-México, Editorial Mc Graw Hill.
- 3.- AVNER, Sidney. (1978). Introducción a la Metalurgia Física. México. Mc Graw Hill.
- 4.- CALLISTER, William.(2005) Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales. Editorial REVERTE.
- 5.- DE VEDIA, L.A. y SVOBODA, H. G. (2004) Introducción a la Metalurgia de la Soldadura
- 6.-GALVERY, William y MARLOW, Frank. Guía de Soldadura para técnicos profesionales
- 7.- GIL, Juan. Manual de Mecánica Industrial Tomo 1.
- 8.- GONZALES, Wenceslao y MARCINI Héctor. Ingeniería de Materiales y Estructuras.
- 9.- HORWITZ, Henry. (2002). Soldadura: Aplicaciones y Práctica. Primera Edición. Alfaomega Grupo Editor.
- 10.- MANGONON, Pat. (2001). Ciencia de Materiales Selección y Diseño. Primera Edición. México.

11.- NARANJO, G. y otros. 2004. Tutoría de la Investigación Científica. 2 ed. Quito-Ecuador Editorial Diemerino Editores.

12.- PASTOR, Mario. Introducción a la metalurgia de la soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

13.- RODRIGUEZ, Claudio. (2001) Manual de Soldadura Eléctrica, MIG y TIG. Primera Edición. Editorial Alsina. Buenos Aires-Argentina.

14.- SMITH, William. (1998). Fundamentos de la Ciencia E Ingeniería de Materiales.

Biblioteca Virtual UTA

15.- JIMENEZ, José. (2009). Resumen del curso de tecnología de los materiales II. Editorial El Cid Editor. (Biblioteca virtual UTA. Ebrary).

16.- MOLERA P.(2009). Tratamientos térmicos de los metales.España. <<http://site.ebrary.com/lib/utasp/Doc?id=10316635&ppg=103>>

17.- UNFRIED, Jimy. TABARES, Efraín. (2006). Soldabilidad de fundiciones grises con materiales de aporte tipo RBCuZn-A, ERCuAl-A2 y ERNiFe-CI-A. Colombia. <<http://site.ebrary.com/lib/utasp/Doc?id=10127301&ppg=4>>

ANEXOS

ANEXO A.1

BÖHLER E 920 TRANSMISIÓN

Tipo de aleación: C 0.18 Si 0.25 Mn 0.70 %

Color de identificación: Naranja
Estado de suministro: Trefilado h 11

Equivalencia	AISI: 1018
	DIN: ---
	No. Mat. ---

PROPIEDADES:

Acero para cementación no aleado para piezas pequeñas exigidas principalmente al desgaste, donde la tenacidad del núcleo no sea importante. Buena soldabilidad.

EMPLEO:

Para la construcción de levas uniones, bujes, pines, pivotes, partes prensadas o troqueladas, pernos grado 2, ejes de transmisión con baja exigencia la torque.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado:	1050 – 850 °C
Recocido:	650 – 700 °C
enfriamiento lento en el horno	
Normalizado:	890 – 920 °C
Cementación:	880 – 950 °C
Temple:	770 – 800 °C
enfriamiento en: agua	
Dureza obtenible:	
En el núcleo	20 – 25 HRC
En la capa cementada	55 – 58 HRC
Revenido:	150 – 200 °C


PROPIEDADES MECÁNICAS EN ESTADO RECOCIDO

Dureza Brinell	Límite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Elongación (L=5d) %		Resistencia al Cizallamiento DVM Joule			Resistencia a la tracción en estado templado N/mm ²
			Long.	Transv.	Long.	Tang.	Transv.	
HB			Long.	Transv.	Long.	Tang.	Transv.	
143 máx.	235	410 - 520	20	19	48	31	24	480 - 620

SOLDADURA DE UNIÓN O REPARACIÓN

Electrodo recomendado: UTP 7018
Sin precalentamiento y enfriamiento lento después de soldar.

PRESENTACIÓN:*

	Desde:	Diámetro	6,4	mm
	Hasta:	Diámetro	152,40	mm

(Fuente: Manual de Aceros Especiales BOHLER 2011, 2da Edición Pág 27)

ANEXO A.2

ELECTRODO BASICO BAJA ALEACION

B - 10

Norma:

AWS	E 7018
-----	--------

Análisis del Metal Depositado:
Características:

Color de Revestimiento: Gris		Identificación: Punta Blanca			
C	0.08%	Mn	1.0%	Si	0.6%

*Valores típicos

Electrodo con revestimiento de bajo hidrógeno, con polvo de hierro. Indicado para la soldadura de aceros de alta resistencia a la tracción (56 kg/mm² Máx) así como para aceros de construcción. Su arco es sumamente estable, poco chisporroteo y para mejores resultados úsese arco corto. Se recomienda mantener un arco corto para garantizar buenos resultados en inspecciones radiográficas. Para trabajos de alta responsabilidad es necesario secarlos a 350°C durante una hora.

Aprobación:

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING

Propiedades Mecánicas:

Resistencia a la Tracción	Elongación	Resistencia al Impacto
54-57 kg/mm ²	30 - 34%	CHARPY-V
76.000		Joules
81.000 lbs/pulg ²		70 - 90 (-28°C)

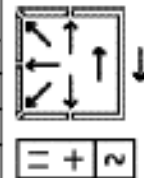
*Valores típicos

Posiciones de Soldar:

Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente.

Corriente y Polaridad:

Para corriente continua o alterna Electrodo al polo positivo		
ø mm	ø Pulg.	Amperaje
3.20	1/8	100-140
4.00	5/32	140-190
5.00	3/16	190-250



Aplicaciones:

- Para aceros de mediano y bajo carbono, baja aleación
- Para aceros laminados en frío, por sus características de resistencia a la deformación a altas temperaturas, su fácil manejo y óptimo rendimiento, es especialmente adecuado.
- Para soldadura de tuberías de vapor.
- Calderas de alta presión, tanques.
- Piezas para maquinaria pesada.
- Construcciones metálicas en obra.
- Reparaciones Navales.

IMPORTANTE:

Los electrodos húmedos o con manchas de grasa, deben destruirse.

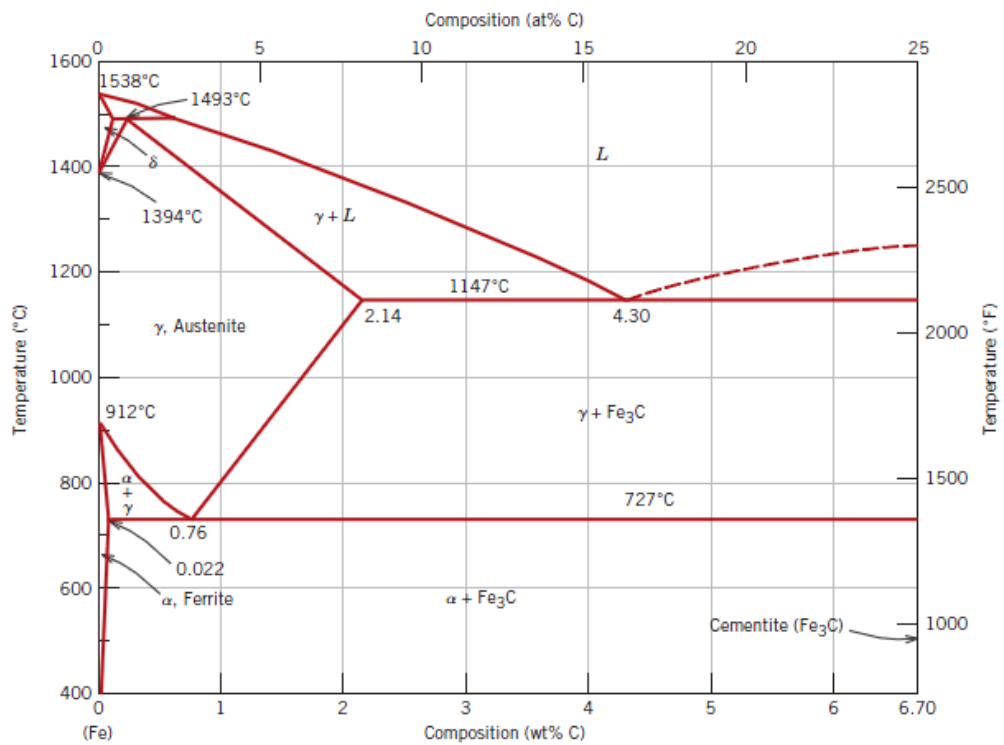
LARGO: 350 mm.

PESO POR CAJA: 20 kg/44 lbs.

(Fuente: Catálogo de electrodos comunes, especiales y gases para corte y soldadura AGA)

ANEXO A.3

DIAGRAMA HIERRO CARBONO



(Fuente:W. Callister Diagrama de Fases Hierro – Carburo de Hierro. [Adaptado de Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. ASM International, Materials Park, OH.])

ANEXO A.4

DUREZA BRINELL EN FUNCIÓN DEL DIAMETRO DE IDENTACIÓN

Table 1

Brinell Hardness Number of Metal

Diameter of steel ball D (mm)		0.102F/D ²					Diameter of steel ball D (mm)		0.102F/D ²				
		30	10	5	2.5	1.25			30	10	5	2.5	1.25
		Test force F, N (kgf)							Test force F, N (kgf)				
5	2.5	1839 (187.5)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	5	2.5	1839 (187.5)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)
Diameter of impression d (mm)		Brinell hardness HBS (W)					Diameter of impression d (mm)		Brinell hardness HBS (W)				
2.225	1.1125	183	60.9	30.5	15.2	7.62	2.355	1.1775	162	54.0	27.0	13.5	6.75
2.230	1.1150	182	60.6	30.3	15.2	7.58	2.360	1.1800	161	53.8	26.9	13.4	6.72
2.235	1.1175	181	60.4	30.2	15.1	7.55	2.365	1.1825	161	53.5	26.8	13.4	6.69
2.240	1.1200	180	60.1	30.0	15.0	7.51	2.370	1.1850	160	53.3	26.6	13.3	6.66
2.245	1.1225	179	59.8	29.9	14.9	7.47	2.375	1.1875	159	53.0	26.5	13.3	6.63
2.250	1.1250	179	59.5	29.8	14.9	7.44	2.380	1.1900	158	52.8	26.4	13.2	6.60
2.255	1.1275	178	59.2	29.6	14.8	7.40	2.385	1.1925	158	52.6	26.3	13.1	6.57
2.260	1.1300	177	59.0	29.5	14.7	7.37	2.390	1.1950	157	52.3	26.2	13.1	6.54
2.265	1.1325	176	58.7	29.3	14.7	7.34	2.395	1.1975	156	52.1	26.1	13.0	6.51
2.270	1.1350	175	58.4	29.2	14.6	7.30	2.400	1.2000	156	51.9	25.9	13.0	6.48
2.275	1.1375	174	58.1	29.1	14.5	7.27	2.405	1.2025	155	51.6	25.8	12.9	6.46
2.280	1.1400	174	57.9	28.9	14.5	7.23	2.410	1.2050	154	51.4	25.7	12.9	6.43
2.285	1.1425	173	57.6	28.8	14.4	7.20	2.415	1.2075	154	51.2	25.6	12.8	6.40
2.290	1.1450	172	57.3	28.7	14.3	7.17	2.420	1.2100	153	51.0	25.5	12.7	6.37
2.295	1.1475	171	57.1	28.5	14.3	7.13	2.425	1.2125	152	50.7	25.4	12.7	6.34
2.300	1.1500	170	56.8	28.4	14.2	7.10	2.430	1.2150	152	50.5	25.3	12.6	6.31
2.305	1.1525	170	56.5	28.3	14.1	7.07	2.435	1.2175	151	50.3	25.1	12.6	6.29
2.310	1.1550	169	56.3	28.1	14.1	7.03	2.440	1.2200	150	50.1	25.0	12.5	6.26
2.315	1.1575	168	56.0	28.0	14.0	7.00	2.445	1.2225	150	49.8	24.9	12.5	6.23
2.320	1.1600	167	55.8	27.9	13.9	6.97	2.450	1.2250	149	49.6	24.8	12.4	6.20
2.325	1.1625	167	55.5	27.8	13.9	6.94	2.455	1.2275	148	49.4	24.7	12.4	6.18
2.330	1.1650	166	55.3	27.6	13.8	6.91	2.460	1.2300	148	49.2	24.6	12.3	6.15
2.335	1.1675	165	55.0	27.5	13.8	6.88	2.465	1.2325	147	49.0	25.5	12.2	6.12
2.340	1.1700	164	54.8	27.4	13.7	6.84	2.470	1.2350	146	48.8	25.4	12.2	6.10
2.345	1.1725	164	54.5	27.3	13.7	6.81	2.475	1.2375	146	48.6	25.3	12.1	6.07
2.350	1.1750	163	54.3	27.1	13.6	6.78	2.480	1.2400	145	48.3	25.2	12.1	6.04

Table 1

Brinell Hardness Number of Metal

Diameter of steel ball D (mm)		0.102F/D ²					Diameter of steel ball D (mm)		0.102F/D ²				
		30	10	5	2.5	1.25			30	10	5	2.5	1.25
		Test force F, N (kgf)							Test force F, N (kgf)				
5	2.5	1839 (187.5)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	5	2.5	1839 (187.5)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)
Diameter of impression d (mm)		Brinell hardness HBS (W)					Diameter of impression d (mm)		Brinell hardness HBS (W)				
2.485	1.2425	144	48.1	24.1	12.0	6.02	2.615	1.3075	129	43.1	21.6	10.8	5.39
2.490	1.2450	144	47.9	24.0	12.0	5.99	2.620	1.3100	129	42.9	21.5	10.7	5.37
2.495	1.2475	143	47.7	23.9	11.9	5.97	2.625	1.3125	128	42.8	21.4	10.7	5.34
2.500	1.2500	143	47.5	23.8	11.9	5.94	2.630	1.3150	128	42.6	21.3	10.6	5.32
2.505	1.2525	142	47.3	23.7	11.8	5.91	2.635	1.3175	127	42.4	21.2	10.6	5.30
2.510	1.2550	141	47.1	23.6	11.8	5.89	2.640	1.3200	127	42.2	21.1	10.5	5.28
2.515	1.2575	141	45.9	23.5	11.7	5.86	2.645	1.3225	126	42.1	21.0	10.5	5.26
2.520	1.2600	140	46.7	23.4	11.7	5.84	2.650	1.3250	126	41.9	20.9	10.5	5.24
2.525	1.2625	140	46.5	23.3	11.6	5.81	2.655	1.3275	125	41.7	20.9	10.4	5.21
2.530	1.2650	139	46.3	23.2	11.6	5.79	2.660	1.3300	125	41.5	20.8	10.4	5.19
2.535	1.2675	138	46.1	23.1	11.5	5.76	2.665	1.3325	124	41.4	20.7	10.3	5.17
2.540	1.2700	138	45.9	23.0	11.5	5.74	2.670	1.3350	124	41.2	20.6	10.3	5.15
2.545	1.2725	137	45.7	22.9	11.4	5.72	2.675	1.3375	123	41.0	20.5	10.3	5.13
2.550	1.2750	137	45.5	22.8	11.4	5.69	2.680	1.3400	123	40.9	20.4	10.2	5.11
2.555	1.2775	136	45.3	22.7	11.3	5.67	2.685	1.3425	122	40.7	20.3	10.2	5.09
2.560	1.2800	135	45.1	22.6	11.3	5.64	2.690	1.3450	122	40.5	20.3	10.1	5.07
2.565	1.2825	135	45.0	22.5	11.2	5.62	2.695	1.3475	121	40.4	20.2	10.1	5.05
2.570	1.2850	134	44.8	22.4	11.2	5.60	2.700	1.3500	121	40.2	20.1	10.1	5.03
2.575	1.2875	134	44.6	22.3	11.1	5.57	2.705	1.3525	120	40.0	20.0	10.0	5.01
2.580	1.2900	133	44.4	22.2	11.1	5.55	2.710	1.3550	120	39.9	19.9	9.97	4.99
2.585	1.2925	133	44.2	22.1	11.1	5.53	2.715	1.3575	119	39.7	19.9	9.93	4.97
2.590	1.2950	132	44.0	21.9	11.0	5.50	2.720	1.3600	119	39.6	19.8	9.89	4.95
2.595	1.2975	132	43.8	21.9	11.0	5.48	2.725	1.3625	118	39.4	19.7	9.85	4.93
2.600	1.3000	131	43.7	21.8	10.9	5.46	2.730	1.3650	118	39.2	19.6	9.81	4.91
2.605	1.3025	130	43.5	21.7	10.9	5.43	2.735	1.3675	117	39.1	19.5	9.77	4.89
2.610	1.3050	130	43.3	21.6	10.8	5.41	2.740	1.3700	117	38.9	19.5	9.73	4.87

Table 1



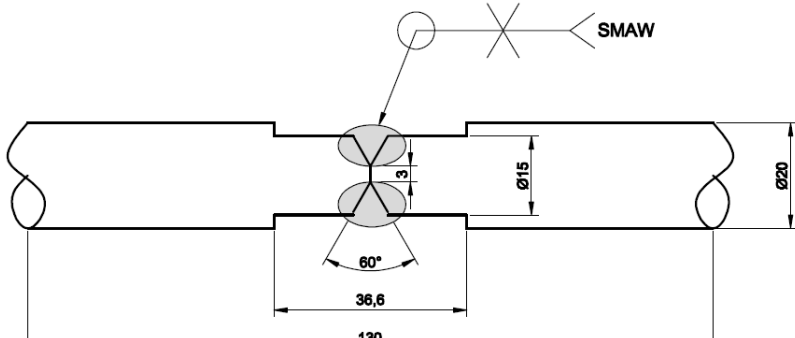
Brinell Hardness Number of Metal

Diameter of steel ball D (mm)		0.102F/D ²					Diameter of steel ball D (mm)		0.102F/D ²				
		30	10	5	2.5	1.25			30	10	5	2.5	1.25
		Test force F, N (kgf)							Test force F, N (kgf)				
5	2.5	1839 (187.5)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	5	2.5	1839 (187.5)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)	612.9 (62.5)	306.5 (31.25)
Diameter of impression d (mm)		Brinell hardness HBS (W)					Diameter of impression d (mm)		Brinell hardness HBS (W)				
2.745	1.3725	116	38.8	19.4	9.69	4.85	2.875	1.4375	105	35.0	17.5	8.75	4.38
2.750	1.3750	116	38.6	19.3	9.66	4.83	2.880	1.4400	105	34.9	17.4	8.72	4.36
2.755	1.3775	115	38.5	19.2	9.61	4.81	2.885	1.4425	104	34.7	17.4	8.68	4.34
2.760	1.3800	115	38.3	19.2	9.58	4.79	2.890	1.4450	104	34.6	17.3	8.65	4.33
2.765	1.3825	114	38.2	19.1	9.54	4.77	2.895	1.4475	103	34.5	17.2	8.62	4.31
2.770	1.3850	114	38.0	19.0	9.50	4.75	2.900	1.4500	103	34.3	17.2	8.59	4.29
2.775	1.3875	114	37.9	18.9	9.47	4.73	2.905	1.4525	103	34.2	17.1	8.55	4.28
2.780	1.3900	113	37.7	18.9	9.43	4.71	2.910	1.4550	102	34.1	17.0	8.52	4.26
2.785	1.3925	113	37.6	18.8	9.39	4.70	2.915	1.4575	102	33.9	17.0	8.49	4.24
2.790	1.3950	112	37.4	18.7	9.35	4.68	2.920	1.4600	101	33.8	16.9	8.45	4.23
2.795	1.3975	112	37.3	18.6	9.32	4.66	2.925	1.4625	101	33.7	16.8	8.42	4.21
2.800	1.4000	111	37.1	18.6	9.28	4.64	2.930	1.4650	101	33.6	16.8	8.39	4.20
2.805	1.4025	111	37.0	18.5	9.24	4.62	2.935	1.4675	100	33.4	16.7	8.36	4.18
2.810	1.4050	110	36.8	18.4	9.21	4.60	2.940	1.4700	99.9	33.4	16.7	8.33	4.16
2.815	1.4075	110	36.7	18.3	9.17	4.59	2.945	1.4725	99.5	33.2	16.6	8.30	4.15
2.820	1.4100	110	36.5	18.3	9.14	4.57	2.950	1.4750	99.2	33.1	16.5	8.26	4.13
2.825	1.4125	109	36.4	18.2	9.10	4.55	2.955	1.4775	98.8	32.9	16.5	8.23	4.12
2.830	1.4150	109	36.3	18.1	9.06	4.53	2.960	1.4800	98.4	32.8	16.4	8.20	4.10
2.835	1.4175	108	36.1	18.1	9.03	4.51	2.965	1.4825	98.0	32.7	16.3	8.17	4.09
2.840	1.4200	108	36.0	18.0	8.99	4.50	2.970	1.4850	97.7	32.6	16.3	8.14	4.07
2.845	1.4225	107	35.8	17.9	8.96	4.48	2.975	1.4875	97.3	32.4	16.2	8.11	4.05
2.850	1.4250	107	35.7	17.8	8.92	4.46	2.980	1.4900	96.9	32.3	16.2	8.08	4.04
2.855	1.4275	107	35.6	17.8	8.89	4.44	2.985	1.4925	96.6	32.2	16.1	8.05	4.02
2.860	1.4300	106	35.4	17.7	8.85	4.43	2.990	1.4950	96.2	32.1	16.0	8.02	4.01
2.865	1.4325	106	35.3	17.6	8.82	4.41	2.995	1.4975	95.9	32.0	16.0	7.99	3.99
2.870	1.4350	105	35.1	17.6	8.79	4.39	3.000	1.5000	95.5	31.8	15.9	7.96	3.98

(Fuente: Catálogo del Durómetro del laboratorio de Materiales de la FICM-UTA
Pág. 13-15)



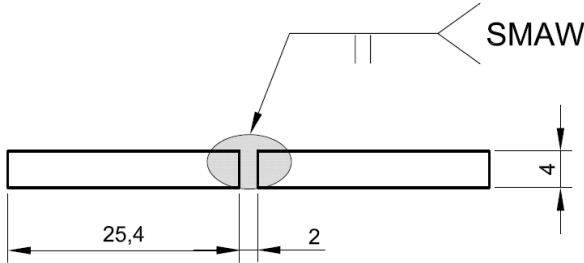
ANEXO A.5

WPS Especificación del procedimiento de soldadura de probetas de tracción.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
WPS ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
PROBETAS DE TRACCIÓN							
Institución :		Universidad Técnica de Ambato			Identificación N°:		WPS T-001
Proceso(s) de soldadura:		SMAW			Soporte de PQR N°:		PQR T-001
Tipo:	Manual:	x	Automático:		Semiautomático:		Maquina:
Revisión:	00	Fecha:	06/03/2012	Revisado por:	Ing. Henry Vaca O.		
DISEÑO DE UNIÓN				POSICIÓN			
Tipo de Unión:		A TOPE			Ranura:	1G	Filete:
Tipo de Soldadura:		RANURA EN X			Plancha:		Tubería:
Abertura de Raíz:		N/A			CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS		
Longitud de Cara de Raíz:		N/A			Modo de transferencia GMAW: N/A		
Angulo de ranura	60°	Radio J/U		Corto Circuito:		Globular:	Spray:
Soporte:	Si	No	X	Corriente: Proceso SMAW			
Material de aporte:		AWS E-7018			AC:		DCEP
Limpieza de Raíz:	N/A	Método:	N/A	Pulso:		DCEN	120 A
METAL BASE				TÉCNICA			
DATOS		M.B. 1	M.B. 2	Aportación:	Oscilante:	Recta:	X
Grupo:	1	1	1	Pase:	Múltiple:	Simple:	X
Especificación:	AISI 1018	AISI 1018	AISI 1018	Limpieza en pases:		Método	
Grado:	N/A	N/A	N/A	PRECALENTAMIENTO			
Espesor	N/A	N/A	N/A	Temperatura de precalentamiento:		N/A	
Diámetro	15 mm	15 mm	15 mm	Temperatura interpase:		N/A	
Superficie				POSTCALENTAMIENTO			
Otros				Temperatura:	600°C	Tiempo:	1 hora
METAL DE APORTE				PROTECCIÓN			
Especificación AWS:		A 5.1		Fundente:	Básico	Gas:	N/A
Clasificación AWS:		E-7018		Composición:	Bajo H	Composición:	N/A
Marca:		AGA		Fundente:		V. de flujo:	N/A
Tamaño del electrodo:		1/8"					
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
Cap a	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Velocidad de avance	
		Clase	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperaje		
1	SMAW	E-7018	1/8"	DCEP	120 A	0.06 m/min	
DETALLES DE LA JUNTA:							
							
Elaborado por:		Ing. Henry Vaca O.		Fecha:		06/03/2012	
Aprobado por:		Ing. Henry Vaca O.		Institución:		U.T.A.	



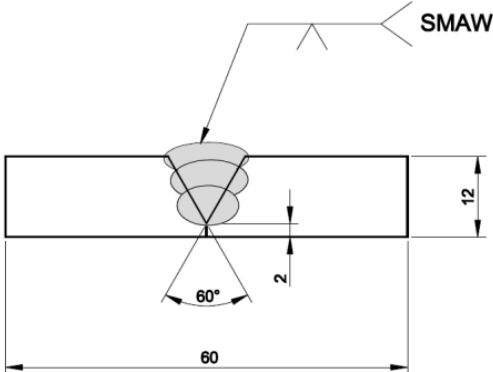
ANEXO A.6

WPS Especificación del procedimiento de soldadura de probetas de análisis metalográfico y dureza.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
PQR REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO PROBETAS DE METALOGRAFICO Y DUREZA							
Institución :		Universidad Técnica de Ambato		Identificación N°:		PQR MD-001	
Proceso(s) de soldadura:		SMAW		Soporte de WPS N°:		WPS T-001	
Tipo:	Manual:	<input checked="" type="checkbox"/>	Automático:	<input type="checkbox"/>	Semiautomático:	<input type="checkbox"/>	Maquina:
Revisión:	00	Fecha:	07/03/2012	Revisado por:	Ing. Henry Vaca O.		
DISEÑO DE UNIÓN				POSICIÓN			
Tipo de Unión:		A TOPE		Ranura:	1G	Filete:	
Tipo de Soldadura:		SIN RANURA		Plancha:		Tubería:	
Abertura de Raíz:		2mm		CARACTERISTICAS ELECTRICAS			
Longitud de Cara de Raíz:		N/A		Modo de transferencia GMAW: N/A			
Angulo de ranura	N/A	Radio J/U	N/A	Corto Circuito:	<input type="checkbox"/>	Globular:	<input type="checkbox"/>
Soporte:	<input checked="" type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> X	Corriente: Proceso SMAW			
Material de aporte:		AWS E-7018		AC:	<input type="checkbox"/>	DCEP	<input checked="" type="checkbox"/> 120 A
Limpieza de Raíz:	N/A	Método:	N/A	Pulso:	<input type="checkbox"/>	DCEN	<input type="checkbox"/>
METAL BASE				TÉCNICA			
DATOS		M.B. 1	M.B. 2	Aportación:	<input type="checkbox"/>	Oscilante:	<input type="checkbox"/>
Grupo:	1	1	1	Pase:	<input type="checkbox"/>	Múltiple:	<input type="checkbox"/>
Especificación:	AISI 1018	AISI 1018	AISI 1018	Limpieza en pases:	<input type="checkbox"/>	Método	<input type="checkbox"/>
Grado:	N/A	N/A	N/A	PRECALENTAMIENTO			
Espesor	4mm	4mm	4mm	Temperatura de precalentamiento:		N/A	
Diámetro	N/A	N/A	N/A	Temperatura interpase:		N/A	
Superficie	N/A	N/A	N/A	POSTCALENTAMIENTO			
Otros				Temperatura:	600°C	Tiempo:	1 hora
METAL DE APORTE				PROTECCIÓN			
Especificación AWS:		A 5.1		Fundente:	Básico	Gas:	N/A
Clasificación AWS:		E-7018		Composición:	Bajo H	Composición:	N/A
Marca:		AGA		Fundente:		V. de flujo:	N/A
Tamaño del electrodo:		1/8"					
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
Cap a	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Velocidad de avance	
		Clase	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperaje		
1	SMAW	E-7018	1/8"	DCEP	120 A	0.06 m/min	
DETALLES DE LA JUNTA:							
							
Elaborado por:		Ing. Henry Vaca O.		Fecha:		07/03/2012	
Aprobado por:		Ing. Henry Vaca O.		Institución:		U.T.A.	



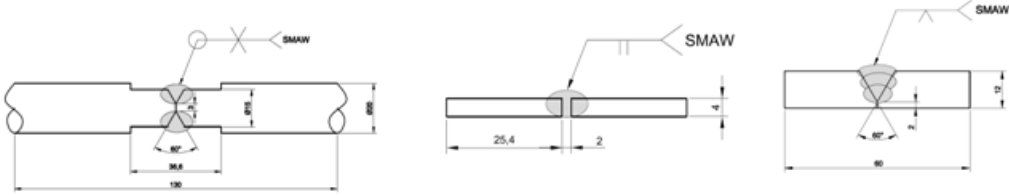
ANEXO A.7

WPS Especificación del procedimiento de soldadura de probetas de impacto

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
PQR REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO PROBETAS DE IMPACTO							
Institución :		Universidad Técnica de Ambato		Identificación N°:		PQR IM-001	
Proceso(s) de soldadura:		SMAW		Soporte de WPS N°:		WPS T-001	
Tipo:	Manual:	<input checked="" type="checkbox"/>	Automático:	<input type="checkbox"/>	Semiautomático:	<input type="checkbox"/>	Maquina:
Revisión:	00	Fecha:	08/03/2012	Revisado por:		Ing. Henry Vaca O.	
DISEÑO DE UNIÓN				POSICIÓN			
Tipo de Unión:		A TOPE		Ranura:	1G	Filete:	
Tipo de Soldadura:		RANURA EN V		Plancha:		Tubería:	
Abertura de Raíz:		0mm		CARACTERISTICAS ELECTRICAS			
Longitud de Cara de Raíz:		N/A		Modo de transferencia GMAW: N/A			
Angulo de ranura	60°	Radio J/U	N/A	Corto Circuito:	<input type="checkbox"/>	Globular:	<input type="checkbox"/>
Soporte:	<input checked="" type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> X	Corriente: Proceso SMAW			
Material de aporte:		AWS E-7018		AC:	<input type="checkbox"/>	DCEP:	120 A
Limpieza de Raíz:	N/A	Método:	N/A	Pulso:	<input type="checkbox"/>	DCEN:	<input type="checkbox"/>
METAL BASE				TÉCNICA			
DATOS		M.B. 1	M.B. 2	Aportación:	Oscilante:	Recta:	<input checked="" type="checkbox"/> X
Grupo:	1	1	1	Pase:	Múltiple:	Simple:	<input checked="" type="checkbox"/> X
Especificación:	AISI 1018	AISI 1018	AISI 1018	Limpieza en pases:	<input type="checkbox"/>	Método:	
Grado:	N/A	N/A	N/A	PRECALENTAMIENTO			
Espesor:	12mm	12mm	12mm	Temperatura de precalentamiento:		N/A	
Diámetro:	N/A	N/A	N/A	Temperatura interpase:		N/A	
Superficie:	N/A	N/A	N/A	POSTCALENTAMIENTO			
Otros				Temperatura:	600°C	Tiempo:	1 hora
METAL DE APORTE				PROTECCIÓN			
Especificación AWS:		A 5.1		Fundente:	Básico	Gas:	N/A
Clasificación AWS:		E-7018		Composición:	Bajo H	Composición:	N/A
Marca:		AGA		Fundente:		V. de flujo:	N/A
Tamaño del electrodo:		1/8"					
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
Cap a	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Velocidad de avance	
		Clase	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperaje		
1-3	SMAW	E-7018	1/8"	DCEP	120 A	0.06 m/min	
DETALLES DE LA JUNTA:							
							
Elaborado por:		Ing. Henry Vaca O.		Fecha:		08/03/2012	
Aprobado por:		Ing. Henry Vaca O.		Institución:		U.T.A.	

ANEXO A.8

PQR Registro de calificación del procedimiento de soldadura probetas de tracción dureza, impacto

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
PQR REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PROBETAS DE TRACCIÓN DUREZA, IMPACTO							
Institución :		Universidad Técnica de Ambato		Identificación N°:		PQR IM-001	
Proceso(s) de soldadura:		SMAW		Soporte de WPS N°:		WPS T-001, WPS MD-001, WPS IM-001	
Tipo:	Manual: <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Automático:		Semiautomático:		Maquina:	
Revisión:	00	Fecha:	09/10/2012	Revisado por:	Ing. Henry Vaca O.		
DISEÑO DE UNIÓN				POSICIÓN			
Tipo de Unión:		A TOPE		Ranura:	1G	Filete:	
Tipo de Soldadura:		RAN.X, SIN RAN, RAN V.		Plancha:		Tubería:	
Abertura de Raíz:		N/A, 2mm, N/A		CARACTERISTICAS ELECTRICAS			
Longitud de Cara de Raíz:		N/A		Modo de transferencia GMAW: N/A			
Angulo de ranura	60°	Radio J/U	N/A	Corto Circuito:	Globular:	Spray:	
Soporte:	<input checked="" type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> X	Corriente: Proceso SMAW			
Material de aporte:		AWS E-7018		AC:	DCEP	120 A	
Limpieza de Raíz:	N/A	Método:	N/A	Pulso:	DCEN		
METAL BASE				TÉCNICA			
DATOS		M.B. 1	M.B. 2	Aportación:	Oscilante:	Recta:	<input checked="" type="checkbox"/> X
Grupo:		1	1	Pase:	Múltiple:	Simple:	<input checked="" type="checkbox"/> X
Especificación:	AISI 1018	AISI 1018		Limpieza en pases:	Método		
Grado:	N/A	N/A		PRECALENTAMIENTO			
Espesor	12mm	12mm		Temperatura de precalentamiento:		N/A	
Diámetro	N/A	N/A		Temperatura interpase:		N/A	
Superficie	N/A	N/A		POSTCALENTAMIENTO			
Otros				Temperatura:	600°C	Tiempo:	1 hora
METAL DE APORTE				PROTECCIÓN			
Especificación AWS:		A 5.1		Fundente:	Básico	Gas:	N/A
Clasificación AWS:		E-7018		Composición:	Bajo H	Composición:	N/A
Marca:		AGA		Fundente:		V. de flujo:	N/A
Tamaño del electrodo:		1/8"					
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
Capa	Proceso	ENSAYO	Metal de aporte		Corriente		Velocidad de avance
			Clase	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperaje	
1	SMAW	TRACCION	E-7018	1/8"	DCEP	120 A	0.06 m/min
1	SMAW	DUREZA	E-7018	1/8"	DCEP	120 A	0.06 m/min
1-3	SMAW	IMPACTO	E-7018	1/8"	DCEP	120 A	0.06 m/min
DETALLES DE LA JUNTA:							
							
Elaborado por:		Ing. Henry Vaca O.		Fecha:		09/10/2012	
Aprobado por:		Ing. Henry Vaca O.		Institución:		U.T.A.	



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



PQR REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO

ENSAYO DE TENSIÓN

Probeta N°	Diámetro (mm)	Área Sección (mm ²)	Carga de Rotura(Kg)	Esfuerzo último de tracción (Kg/mm ²)	Esfuerzo de fluencia (Kg/mm ²)	Localización de la rotura
1.1	12.7	126.67	6242	49.27	34.1	MATERIAL BASE
1.2	12.7	126.67	5646	44.57	32	MATERIAL BASE
1.3	12.7	126.67	5926	46.78	32	MATERIAL BASE
1.4	12.7	126.67	5766	45.52	34	MATERIAL BASE
1.5	12.7	126.67	6152	48.56	34	MATERIAL BASE

ENSAYO DE TENACIDAD O IMPACTO

Tipo de ensayo:		CHARPY		Temperatura del ensayo:	21°C
Probeta N°	Posición de la soldadura	Tipo de entalla	Localización de impacto	Valor del impacto (Joules)	Área de la fractura dúctil
1.8	1G	V	Depósito de soldadura	39	si
1.9	1G	V	Depósito de soldadura	37	si
1.10	1G	V	Depósito de soldadura	38	si
1.11	1G	V	Depósito de soldadura	41	si
1.12	1G	V	Depósito de soldadura	39	si

INSPECCION VISUAL

Apariencia:	BUENA
Socavamiento	NO
Porosidad de Grande	NO
Convexidad	NO
Inspeccionado por:	Ing. Henry Vaca

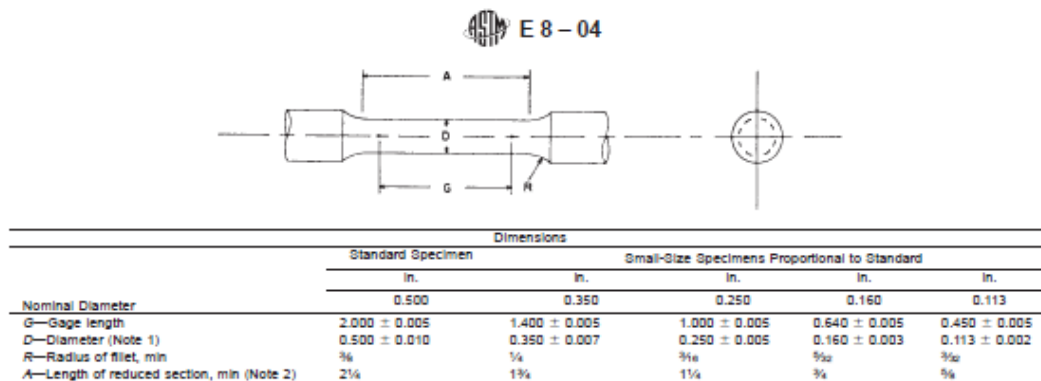
APLICA :			
ENSAYO	SI -NO	RESULTADO	OBSERVACIONES
Ensayo de dureza	SI	Max. 182 HB, Mín. 130 HB	Recocido 600°C, 1 hora
Ensayo Visual	SI	Bueno	Recocido 600°C, 1 hora
Ensayo de tensión	SI	Promedio 46.97 Kg/mm ²	Recocido 600°C, 1 hora
Ensayo Impacto	SI	Promedio 38.8 Joules	Recocido 600°C, 1 hora
Otros			

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 de los códigos de soldadura y ensayos de materiales.

Elaborado por:	Ing. Henry Vaca	Fecha:	09/10/2012
Aprobado por:	Ing. Mg. Pablo Valle	Institución:	U.T.A.
Ensayos realizados por:	Ing. Henry Vaca	Laboratorio:	Materiales

ANEXO B.1

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E8:04 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials I



NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

NOTE 3—The gage length and fillets may be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gage lengths are equal to four times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but unless the 4-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

NOTE 5—The use of specimens smaller than 0.250-in. diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

NOTE 6—Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross-sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.², respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these five diameters do not result in correspondingly convenient cross-sectional areas and multiplying factors.)

FIG. 8 Standard 0.500-in. Round Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

6.5.1 For material with a nominal thickness of 0.0005–0.1875 in., use the sheet-type specimen described in 6.3.

6.5.2 For material with a nominal thickness of 0.1875–0.500 in., use either the sheet-type specimen of 6.3 or the plate-type specimen of 6.2.

6.5.3 For material with a nominal thickness of 0.500–0.750 in., use either the sheet-type specimen of 6.3, the plate-type specimen of 6.2, or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4 For material with a nominal thickness of 0.750 in., or greater, use the plate-type specimen of paragraph 6.2 or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4.1 If the product specifications permit, material of a thickness of 0.750 in., or greater may be tested using a modified sheet-type specimen conforming to the configuration shown by Fig. 2. The thickness of this modified specimen must be machined to 0.400 ± 0.020 in., and must be uniform within 0.004 in. throughout the reduced section. In the event of disagreement, a round specimen shall be used as the referee specimen.

6.6 Specimens for Wire, Rod, and Bar:

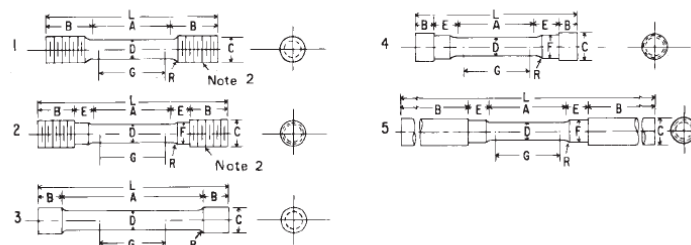
6.6.1 For round wire, rod, and bar, test specimens having the full cross-sectional area of the wire, rod, or bar shall be used wherever practicable. The gage length for the measurement of elongation of wire less than 1/8 in. in diameter shall be as

prescribed in product specifications. In testing wire, rod, or bar that has a 1/8-in. or larger diameter, unless otherwise specified, a gage length equal to four times the diameter shall be used. The total length of the specimens shall be at least equal to the gage length plus the length of material required for the full use of the grips employed.

6.6.2 For wire of octagonal, hexagonal, or square cross section, for rod or bar of round cross section where the specimen required in 6.6.1 is not practicable, and for rod or bar of octagonal, hexagonal, or square cross section, one of the following types of specimens shall be used:

6.6.2.1 *Full Cross Section* (Note 10)—It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gage marks. For material not exceeding 0.188 in. in diameter or distance between flats, the cross-sectional area may be reduced to not less than 90 % of the original area without changing the shape of the cross section. For material over 0.188 in. in diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.010 in. without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 0.188 in. between flats may be turned to a round having a cross-sectional area not smaller than 90 % of the area of the maximum inscribed circle. Fillets, preferably with a radius of 3/16 in., but

ASTM E 8 - 04



	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.				
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	3/8	3/8	1/16	3/8	3/8
A—Length of reduced section	2 1/4, min	2 1/4, min	4, approximately	2 1/4, min	2 1/4, min
L—Over-all length, approximate	5	5 1/2	5 1/2	4 3/4	9 1/2
B—Length of end section (Note 3)	1 3/8, approximately	1, approximately	3/4, approximately	1/2, approximately	3, min
C—Diameter of end section	3/4	3/4	29/32	7/8	3/4
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	...	3/8	...	3/4	3/8
F—Diameter of shoulder	...	3/8	...	3/8	19/32

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.005 in. larger in diameter than the center.

NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.

NOTE 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

not less than 1/8 in., shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 0.188 in. between flats may be turned to a round having a diameter no smaller than 0.010 in. less than the original distance between flats.

NOTE 10—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened surfaces are parallel and that the two parallel surfaces on the same side of the axis of the test specimen lie in the same plane.

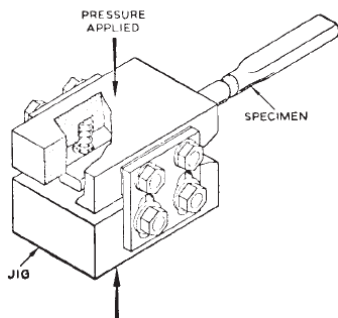


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens

6.6.2.2 For rod and bar, the largest practical size of round specimen as described in 6.4 may be used in place of a test specimen of full cross section. Unless otherwise specified in the product specification, specimens shall be parallel to the direction of rolling or extrusion.

6.7 Specimens for Rectangular Bar—In testing rectangular bar one of the following types of specimens shall be used:

6.7.1 Full Cross Section—It is permissible to reduce the width of the specimen throughout the test section with abrasive cloth or paper, or by machining sufficiently to facilitate fracture within the gage marks, but in no case shall the reduced width be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced section not less than 3/4 in. in length shall be parallel to each other and to the longitudinal axis of the specimen within 0.002 in. Fillets, preferably with a radius of 3/8 in. but not less than 1/8 in. shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bar of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be machined or cut and smoothed to ensure failure within the desired section. The reduced width shall be not less than the original bar thickness. Also, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 may be used.

6.8 Shapes, Structural and Other—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 Specimens for Pipe and Tube (Note 11):

ANEXO B2

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E 111:97 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus¹



Designation: E 111 – 97

Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus¹

This standard is issued under the fixed designation E 111; 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 specification has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method² covers the determination of Young's modulus, tangent modulus, and chord modulus of structural materials. This test method is limited to materials in which and to temperatures and stresses at which creep is negligible compared to the strain produced immediately upon loading and to elastic behavior.

1.2 Because of experimental problems associated with the establishment of the origin of the stress-strain curve described in 8.1, the use of either initial tangent modulus (that is, the slope of the stress-strain curve at the origin) or secant modulus is not recommended and their determination is outside the scope of this test method.

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

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing³
- E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials³
- E 9 Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature³
- E 21 Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials³

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E 28.03 on Elastic Properties and Definitions on Mechanical Testing.

Current edition approved Apr. 10, 1997. Published November 1997. Originally published as E 111 – 55 T. Last previous edition E 111 – 82 (1996) ϵ ¹.

² This test method is a revision of E111 – 61(1978), "Young's Modulus at Room Temperature" and includes appropriate requirements of E231 – 69(1975), "Static Determination of Young's Modulus of Metals at Low and Elevated Temperatures" to permit the eventual withdrawal of the latter method. Method E 231 is under the jurisdiction of ASTM-ASME Joint Committee on Effect of Temperature on the Property of Metals.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers³

E 231 Method for Static Determination of Young's Modulus of Metals at Low and Elevated Temperatures⁴

NOTE 1—General Considerations: While certain portions of the standards and practices listed are applicable and should be referred to, the precision required in this test method is usually higher than that required in general testing.

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *accuracy*—the degree of agreement between an accepted standard value of Young's modulus (the average of many observations made according to this method, preferably by many observers) and the value determined.

3.1.1.1 Increased accuracy is associated with decreased bias relative to the accepted standard value; two methods with equal bias relative to the accepted standard value have equal accuracy even if one method is more precise than the other. See also *bias* and *precision*.

3.1.1.2 The accepted standard value is the value of Young's modulus for the statistical universe being sampled using this method. When an accepted standard value is not available, accuracy cannot be established.

3.1.2 *bias, statistical*—a constant or systematic error in test results.

3.1.2.1 Bias can exist between the accepted standard value and a test result obtained from this test method, or between two test results obtained from this test method, for example, between operators or between laboratories.

3.1.3 *precision*—the degree of mutual agreement among individual measurements made under prescribed like conditions.

3.1.4 *Young's modulus*—the ratio of tensile or compressive stress to corresponding strain below the proportional limit of the material (see Fig. 1a).

3.1.4.1 *tangent modulus*—the slope of the stress-strain curve at a specified value of stress or strain (see Fig. 1b).

⁴ Discontinued, see 1981 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

gage length of the specimen should not exceed the following limits: up to and including 900 ± 1.5°C, above 900 ± 3.0°C. (See 6.5.)

NOTE 10—The terms “indicated nominal temperature” or “indicated temperature” mean the temperature that is indicated by the temperature-measuring device using good pyrometric practice.⁵

NOTE 11—It is recognized that actual temperatures may vary more than the indicated temperatures. The use of “indicated temperatures” for the limits of permissible variation in temperature are not to be construed as minimizing the importance of good practice and precise temperature control. All laboratories are obligated to keep the variation of indicated temperature from the actual temperature as small as is practical. Temperature changes during the test, within the allowable limits, can cause significant strain errors due to differences in thermal expansion of the test specimen and extensometer parts. Temperature changes should be minimized while making strain measurements.

8.7 In low-temperature testing in which the bath is cooled with dry ice or in which a refrigeration system is used, the temperature of the medium around the specimen should be maintained at temperatures within 1.5°C of the specified temperature. Measurement of bath temperatures or of circulating air from a refrigeration system may be done with a copper-constantan thermocouple or a suitable thermometer. If the specimen is submerged in a bath at the boiling point of the bath, sufficient soaking time (see Note 7) must be allowed to provide equilibrium conditions. Specimens tested in boiling liquids must meet the temperature control requirements specified in 8.6.

8.7.1 **Caution**—The boiling point of a commercial liquid gas may not be the same as the published temperature for the pure liquid gas.

8.8 *Temperature Measurement*—The method of temperature measurement must be sufficiently sensitive and reliable to ensure that the temperature of the specimen is within the limits specified in 8.6 and 8.7. Thermocouples in conjunction with potentiometers or millivolt meters are generally used to measure temperatures. A discussion of temperature measurement and the use of thermocouples is given in Test Methods E 21.

9. Interpretation of Data

9.1 If a plot of load-versus-extension is obtained by means of an autographic recorder, the value for Young’s modulus may be obtained by determining the slope of the line for loads less than the load corresponding to the proportional limit. Choice of the lower load point depends on the limitations set forth in 8.1. Young’s modulus is calculated from the load increment and corresponding extension increment, between two points on the line as far apart as possible, by use of the following equation:

$$E = \left(\frac{\Delta_p}{A_o}\right) \left(\frac{\Delta_c}{L_o}\right) \tag{1}$$

where:

- Δ_p = load increment,
- A_o = original cross-sectional area,
- Δ_c = extension increment, and
- L_o = original gage length.

⁵ For further information on temperature control and measurement, see Panel Discussion on Pyrometric Practices, ASTM STP 178, 1955.

The precision of the value obtained for Young’s modulus will depend upon the precision of each of the values used in the calculation. It is suggested that the report include an estimate of the precision of the reported value of Young’s modulus based on the summation of the precisions of the respective values. When the modulus determination is made at strains in excess of 0.25 %, corrections should be made for changes in cross-sectional area and gage length.

9.2 If the load-versus-extension data are obtained in numerical form, the errors that may be introduced by plotting the data and fitting graphically a straight line to the experimental points can be reduced by determining Young’s modulus as the slope of the straight line fitted to the appropriate data by the method of least squares. This method also permits statistical study of the data and therefore an evaluation of the variability of the modulus within the stress range employed. The equation for Young’s modulus fitted by the method of least squares (all data pairs having equal weight) is:

$$\text{Young's modulus, } E = (\Sigma XY) - K\bar{X}\bar{Y} / (\Sigma X^2 - K\bar{X}^2) \tag{2}$$

where:

- Y = applied axial stress, and
- X = corresponding strain.

In terms of the measured load P_i and measured original cross-sectional area A_o and gage length L_o ,

$$X = \frac{\Delta_c}{L_o}$$

$$Y = \frac{\Delta_p}{A_o}$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma Y}{K} = \text{average of } Y \text{ values}$$

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{K} = \text{average of } X \text{ value}$$

K = number of X, Y data pairs and Σ = sum from 1 to K .

The coefficient of determination, r^2 , indicates the goodness of fit achieved in a single test. This coefficient is defined as follows:

$$r^2 = \left(\left[\Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{K} \right]^2 \right) / \left(\left[\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{K} \right] \left[\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{K} \right] \right) \tag{3}$$

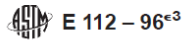
Values of r^2 close to 1.00 are desirable (see Table 1).

TABLE 1 Fitting of Straight Lines Coefficient of Variation of Slope (Percent) (V_1)

Data Pairs (K)	Sample Correlation Coefficients (r)				
	0.90000	0.99000	0.99900	0.99990	0.99999
3	±48.4	±14.2	±4.47	±1.41	±0.447
5	27.9	8.22	2.58	0.816	0.258
10	17.1	5.03	1.58	0.500	0.158
20	11.4	3.35	1.05	0.333	0.105
30	9.1	2.69	0.84	0.267	0.084
50	6.9	2.05	0.64	0.204	0.064
100	4.8	1.44	0.45	0.142	0.045

ANEXO B3

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E 112:96 (Standard Test Methods for Determining Average Grain Size)



size of the specimen, as viewed at the magnification, M , instead of at the basic magnification, M_b (75X or 100X), to yield the true ASTM grain-size number. Thus, for a magnification of 25X, the true ASTM grain-size number is four numbers lower than that of the corresponding photomicrograph at 100X ($Q = -4$). Likewise, for 400X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher ($Q = +4$) than that of the corresponding photomicrograph at 100X. Similarly, for 300X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher than that of the corresponding photomicrograph at 75X.

10.8 The small number of grains per field at the coarse end of the chart series, that is, size 00, and the very small size of the grains at the fine end make accurate comparison ratings difficult. When the specimen grain size falls at either end of the chart range, a more meaningful comparison can be made by changing the magnification so that the grain size lies closer to the center of the range.

10.9 The use of transparencies⁵ or prints of the standards, with the standard and the unknown placed adjacent to each other, is to be preferred to the use of wall chart comparison with the projected image on the microscope screen.

10.10 No particular significance should be attached to the fact that different observers often obtain slightly different results, provided the different results fall within the confidence limits reasonably expected with the procedure used.

10.11 There is a possibility when an operator makes repeated checks on the same specimen using the comparison method that they will be prejudiced by their first estimate. This disadvantage can be overcome, when necessary, by changes in magnification, through bellows extension, or objective or eyepiece replacement between estimates (1).⁶

10.12 Make the estimation of macroscopically-determined grain sizes (extremely coarse) by direct comparison, at a magnification of 1X, of the properly prepared specimen, or of a photograph of a representative field of the specimen, with photographs of the standard grain series shown in Plate I (for untwinned material) and Plates II and III (for twinned material). Since the photographs of the standard grain size series were made at 75 and 100 diameters magnification, grain sizes estimated in this way do not fall in the standard ASTM grain-size series and hence, preferably, should be expressed either as diameter of the average grain or as one of the macro-grain size numbers listed in Table 3. For the smaller macroscopic grain sizes, it may be preferable to use a higher magnification and the correction factor given in Note 3, particularly if it is desirable to retain this method of reporting.

NOTE 3—If the grain size is reported in ASTM macro-grain size numbers, it is convenient to use the relationship:

$$Q_m = 2 \log_2 M \quad (3)$$
$$= 6.64 \log_{10} M$$

where Q_m is a correction factor that is added to the apparent grain size of the specimen, when viewed at the magnification M , instead of at 1X, to yield the true ASTM macro-grain size number. Thus, for a magnification of 2X, the true ASTM macro-grain size number is two numbers higher ($Q = +2$), and for 4X, the true ASTM macro-grain size number is four numbers higher ($Q = +4$) than that of the corresponding photograph.

10.13 The comparison procedure shall be applicable for estimating the austenite grain size in ferritic steel after a McQuaid-Ehn test (see Annex A3, A3.2), or after the austenite grains have been revealed by any other means (see Annex A3, A3.3). Make the grain-size measurement by comparing the microscopic image, at magnification of 100X, with the standard grain size chart in Plate IV, for grains developed in a McQuaid-Ehn test (see Annex A3); for the measurement of austenite grains developed by other means (see Annex A3), measure by comparing the microscopic image with the plate having the most nearly comparable structure observed in Plates I, II, or IV.

10.14 The so-called "Shepherd Fracture Grain Size Method" of judging grain size from the appearance of the fracture of hardened steel (2), involves comparison of the specimen under investigation with a set of standard fractures.⁷ It has been found that the arbitrarily numbered fracture grain size series agree well with the correspondingly numbered ASTM grain sizes presented in Table 4. This coincidence makes the fracture grain sizes interchangeable with the austenitic grain sizes determined microscopically. The sizes observed microscopically shall be considered the primary standard, since they can be determined with measuring instruments.

11. Planimetric (or Jeffries') (3) Procedure

11.1 In the planimetric procedure inscribe a circle or rectangle of known area (usually 5000 mm² to simplify the calculations) on a micrograph or on the ground-glass screen of the metallograph. Select a magnification which will give at least 50 grains in the field to be counted. When the image is focused properly, count the number of grains within this area. The sum of all the grains included completely within the known area plus one half the number of grains intersected by the circumference of the area gives the number of equivalent whole grains, measured at the magnification used, within the area. If this number is multiplied by the Jeffries' multiplier, f , in the second column of Table 5 opposite the appropriate magnification, the product will be the number of grains per square millimetre N_A . Count a minimum of three fields to ensure a reasonable average. The number of grains per square millimetre at 1X, N_A , is calculated from:

$$N_A = f \left(N_{\text{inside}} + \frac{N_{\text{intercepted}}}{2} \right) \quad (4)$$

where f is the Jeffries' multiplier (see Table 5), N_{inside} is the number of grains completely inside the test circle and N

⁵ Transparencies of the various grain sizes in Plate I are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE112TS for the set. Transparencies of individual grain size groupings are available on request. Order Adjunct: ADJE011205T (Grain Size 00), ADJE11206T (Grain Size 0), ADJE11207T (Grain Size 0.5), ADJE11208T (Grain Size 1.0), ADJE11209T (Grain Size 1.5), ADJE11210T (Grain Size 2.0), ADJE11211T (Grain Size 2.5), ADJE11212T (Grain Sizes 3.0, 3.5, and 4.0), ADJE11213T (Grain Sizes 4.5, 5.0, and 5.5), ADJE11214T (Grain Sizes 6.0, 6.5, and 7.0), ADJE11215T (Grain Sizes 7.5, 8.0, and 8.5), and ADJE11216T (Grain Sizes 9.0, 9.5, and 10.0). Charts illustrating grain size numbers 00 to 10 are on 8½ by 11 in. (215.9 by 279.4 mm) film. Transparencies for Plates II, III, and IV are not available.

⁶ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references appended to these test methods.

⁷ A photograph of the Shepherd standard fractures can be obtained from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE011224.

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{T} Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0366	36.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.00
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.00

TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier, *f*, for an Area of 5000 mm² (a Circle of 79.8-mm Diameter) (*f* = 0.0002 *M*²)

Magnification Used, <i>M</i>	Jeffries' Multiplier, <i>f</i> , to Obtain Grains/mm ²
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 ^A	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

^AAt 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier, *f*, becomes unity if the area used is 5625 mm² (a circle of 84.5-mm diameter).

Intercepted is the number of grains that intercept the test circle. The average grain area, \bar{A} , is the reciprocal of \bar{N}_A , that is, $1/\bar{N}_A$, while the mean grain diameter, \bar{d} , as listed on Plate III (see 10.2.3), is the square root of \bar{A} . This grain diameter has no physical significance because it represents the side of a square grain of area \bar{A} , and grain cross sections are not square.

11.2 To obtain an accurate count of the number of grains completely within the test circle and the number of grains intersecting the circle, it is necessary to mark off the grains on the template, for example, with a grease pencil or felt tip pen. The precision of the planimetric method is a function of the number of grains counted (see Section 19). The number of grains within the test circle, however, should not exceed about 100 as counting becomes tedious and inaccurate. Experience suggests that a magnification that produces about 50 grains

within the test circle is about optimum as to counting accuracy per field. Because of the need to mark off the grains to obtain an accurate count, the planimetric method is less efficient than the intercept method (see Section 12).

11.3 Fields should be chosen at random, without bias, as described in 5.2. Do not attempt to choose fields that appear to be typical. Choose the fields blindly and select them from different locations on the plane of polish.

11.4 By original definition, a microscopically-determined grain size of No. 1 has 1,000 grains/in.² at 100X, hence 15.500 grains/mm² at 1X. For areas other than the standard circle, determine the actual number of grains per square millimetre, N_A , and find the nearest size from Table 4. The ASTM grain size number, *G*, can be calculated from N_A (number of grains per mm² at 1X) using (Eq 1) in Table 6.

TABLE 6 Grain Size Equations Relating Measured Parameters to the Microscopically Determined ASTM Grain Size, *G*

NOTE 1—Determine the ASTM Grain Size, *G*, using the following equations:

NOTE 2—The second and third equations are for single phase grain structures.

NOTE 3—To convert micrometres to millimetres, divide by 1000.

NOTE 4—A calculated *G* value of -1 corresponds to ASTM *G* = 00.

Equation	Units
$G = (3.321928 \log_{10} \bar{N}_A) - 2.954$	\bar{N}_A in mm ⁻²
$G = (6.643856 \log_{10} N_A) - 3.288$	N_A in mm ⁻¹
$G = (6.643856 \log_{10} P_L) - 3.288$	P_L in mm ⁻¹
$G = (-6.643856 \log_{10} \bar{d}) - 3.288$	\bar{d} in mm

(Fuente: NORMA ASTM E112:96 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size1 Pág. 7-8)

ANEXO B4

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E 3:01 (Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens¹)



Designation: E 3 – 01

Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens¹

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

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

1. Scope

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

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 90/A 90M Standard Test Method for Weight (Mass) of Coating on Iron and Steel with Zinc or Zinc-Alloy Coatings
- E 7 Terminology Relating to Metallography²
- E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel²
- E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys²
- E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys²
- E 768 Practice for Preparing and Evaluating Specimens for Automatic Inclusion Assessment of Steel²

- E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens²
- E 1122 Practice for Obtaining JK Inclusion Ratings Using Automatic Image Analysis²
- E 1245 Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis²
- E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures²
- E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens²
- E 1920 Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings²

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E 7.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.

3.2.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.

3.2.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same plane of polish. It is unique to semi or fully automatic preparation equipment that utilize specimen holders.

3.2.4 *rigid grinding disc*—a non-fabric support surface, such as a composite of metal/ceramic or metal/polymer charged with an abrasive (usually 6 to 15 μ m diamond particles), and used as the fine grinding operation in a metallographic preparation procedure.

4. Significance and Use

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

4.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other

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

Current edition approved April 10, 2001. Published July 2001. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 95.

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

major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

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

5. Selection of Metallographic Specimens

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

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

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

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

5.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must be decided.

5.2.1 For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting.

5.2.2 In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product.

5.2.3 In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.

5.3 Transverse sections or cross sections taken perpendicular to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.3.1 Variations in structure from center to surface,

5.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,

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

5.3.4 Depth of surface imperfections,

5.3.5 Depth of corrosion,

5.3.6 Thickness of protective coatings, and

5.3.7 Structure of protective coating.

5.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.4.1 Inclusion content of steel (see Practices E 45, E 768, E 1122, and E 1245),

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

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

5.4.4 The microstructure attained with any heat treatment.

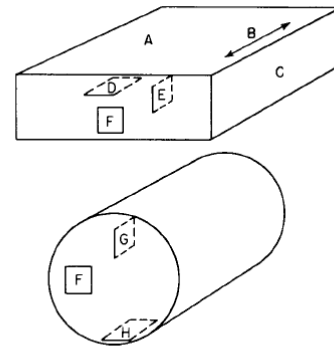
5.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in Fig. 1.

6. Size of Metallographic Specimens

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

6.1.1 Larger specimens are generally more difficult to prepare.

6.1.2 Specimens that are, fragile, oddly shaped or too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Section 9).



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

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

7. Cutting of Metallographic Specimens

7.1 In cutting the metallographic specimen from the main body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

7.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy, fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 350 HV. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

7.1.2 An abrasive cut-off blade will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off blade, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily damage the specimen, producing an alteration of the microstructure. Generally, soft materials are cut with a hard bond blade and hard materials with a soft bond blade. Aluminum oxide abrasive blades are preferred for ferrous metals and silicon carbide blades are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off blades are essential for sectioning metals with hardness above about 350 HV. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting blades. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of blade. Table 1 lists the suggested cutoff blades for materials with various Vickers (HV) hardness values.

7.1.3 A shear is a type of cutting tool with which a material in the form of wire, sheet, plate or rod is cut between two opposing blades.

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

8. Cleanliness

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

8.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before

polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects during etching. The coating can be removed by dissolving in cold nitric acid (HNO₃, sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H₂SO₄) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO₃ method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized. More information may be found in Test Method A 90/A 90M.

NOTE 2—Picral etchant produces little or no galvanic etching effects when used on galvanized steel.

NOTE 3—The addition of an inhibitor during the stripping of Zn from galvanized coatings will minimize the attack of the steel substrate. NEP (polyethylene polyamine) or SbCl₃ are two useful inhibitors.

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

9. Mounting of Specimens

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

9.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two.

9.3 Mechanical Mounting:

9.3.1 Strip and sheet specimens may be mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts.

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

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

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

9.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a layer of epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

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

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

9.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimen.

9.4 Plastic Mounting:

9.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both

TABLE 1 Cutoff Blade Selection

Hardness HV	Materials	Abrasive	Bond	Bond Hardness
up to 300	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	hard
up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	med. hard
up to 400	soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	hard
up to 500	medium soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	med. hard
up to 600	medium hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	medium
up to 700	hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	med. soft
up to 800	very hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or M	hard
	more brittle ceramics	diamond	P or M	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext. hard

P—phenolic

R—rubber

R&R—resin and rubber

M—metal

ANEXO B5

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E 10:01 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials¹



Designation: E 10 – 01^{ε1}

American Association State Highway
and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: T70–86

Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 10; 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.

^{ε1} Note—Section 8.4.1 was editorially updated in June 2004.

1. Scope*

1.1 This test method (Test Method A) covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials, including methods for the verification of Brinell hardness testing machines (Test Method B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Test Method C).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

NOTE 1—In common terminology, the equivalent force in kgf is substituted for N.

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines²
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications³
- E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines²
- E 140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness²

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.1.1 *Brinell hardness number*—a number, which is proportional to the quotient obtained by dividing the test force by the

curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

$$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{See Table 1}) \quad (1)$$

where:

D = diameter of the ball, mm,

F = test force, N, and

d = mean diameter of the indentation, mm.

The Brinell hardness is denoted by the symbol: HBW.

3.1.1.1 *Discussion*—In former standards, a steel ball was allowed for hardness values below 450. In cases when a steel ball was used, the Brinell hardness was denoted by HB or HBS.

3.1.1.2 *Discussion*—The symbol HBW is preceded by the hardness value. When conditions other than those specified in 11.1.2 are used, the hardness value is supplemented by an index indicating the test conditions in the order:

(1) Diameter of the ball, in mm,

(2) A value representing the test force in kgf (see Table 3), and,

(3) Duration of loading, in s.

Examples:

350 HBW 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a ball of 5-mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 to 15 s.

600 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 600 determined with a ball of 1-mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s.

3.1.1.3 *Discussion*—Brinell hardness numbers vary with the test force used; however, test results will generally be in agreement when the ratio of the test force to the square of the ball diameter is held constant (see Table 3).

3.1.1.4 *Discussion*—Table 2 lists the Brinell hardness numbers corresponding to various diameters of indentations for 29.4 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), and 4.90 kN (500 kgf) test forces making it unnecessary to calculate for each test the value of the Brinell hardness number by the above equation in Table 1 when these forces are used with a 10-mm diameter ball.

3.1.2 *Brinell hardness test*—an indenter (tungsten carbide ball with diameter D) is forced into the surface of a test piece and the diameter of the indentation d left in the surface after removal of the test force, F , is measured. (see Table 1 and Figs. 1 and 2.)

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved February 10, 2001. Published April 2001. Originally published as E 10 – 24 T. Last previous edition E 10 – 00a.

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

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

TABLE 1 Symbols and Designations

NOTE 1—Constant = $\frac{1}{g_n} = \frac{1}{9\,806\,65} = 0.102$

Symbol	Designation
D	Diameter of the ball, mm
F	Test force, N
d	Mean diameter of the indentation, mm
h	Depth of the indentation, mm
HBW	Brinell hardness
	= Constant \times $\frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	= $0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

3.1.2.1 *Discussion*—The tungsten carbide ball may be used for materials with a Brinell hardness not exceeding 650.

3.1.3 *calibration*—adjustment of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.4 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

4. Significance and Use

4.1 The Brinell hardness test is an empirical indentation hardness test. Brinell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, or other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials. Brinell hardness testing at the specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product. Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and they have been used extensively in industry for this purpose.

TEST METHOD A—GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR BRINELL HARDNESS TESTS

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—Equipment for Brinell hardness testing usually consists of a testing machine which supports the test specimen and applies an indenting force to a ball in contact with the specimen. The design of the testing machines shall be such that no rocking or lateral movement of the indenter or specimen occurs while the force is being applied. The design of the testing machine shall ensure that the force to the indenter shall be applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system overshoot, etc. See equipment manufacturer's instruction manual for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedure.

5.2 *Brinell Balls*:

5.2.1 The standard ball for Brinell hardness testing shall be 10.000 mm in diameter with a deviation from this value of not more than 0.005 mm in any diameter. The ball shall be polished and free of surface defects. Smaller balls having the diameters

and tolerances indicated in Table 4 may be used also provided the precautions set forth in 8.1 are observed.

5.2.2 The tungsten carbide ball indenter shall have a minimum hardness of 1500 HV10.

NOTE 2—**Caution:** The Brinell test is not recommended for material having hardness over 650 HBW (see 8.1).

5.2.2.1 The chemical composition of tungsten carbide balls shall be:

Tungsten Carbide (WC)	Balance
Cobalt (Co)	5.0 to 7.0 %
Total other Carbides	2.0 % max

5.2.2.2 The use of hardened steel ball indenters has been eliminated from this test method. Only tungsten carbide balls may now be used for this test method.

5.2.3 If a ball is used to test a specimen which shows a Brinell hardness greater than 650, the result should be considered suspect and the ball inspected for damage. If there is any evidence of damage, the ball shall be replaced.

5.3 *Measuring Device*—The divisions of the micrometer scale of the microscope or other measuring devices used for the measurement of the diameter of the indentations shall be such as to permit the direct measuring of the diameter to 0.1 mm and the estimation of the diameter to 0.05 mm.

NOTE 3—This requirement applies to the construction of the device only and is not a requirement for measurement of the indentation.

6. Test Specimen

6.1 There is no standard shape or size for a Brinell test specimen. The specimen upon which the indentation is made shall conform to the following:

6.1.1 *Thickness*—The thickness of the specimen tested shall be such that no bulge or other marking showing the effect of the test force appears on the side of the piece opposite the indentation. As a general rule, the thickness of the specimen shall be at least ten times the depth of the indentation (Table 5).

6.1.2 The minimum width shall conform with the requirements of 8.3.

6.1.3 *Finish*—When necessary, the surface on which the indentation is to be made shall be filed, ground, machined or polished with abrasive material so that the edge of the indentation shall be clearly defined to permit the measurement of the diameter to the specified accuracy (see 9.1). Care should be taken to avoid overheating or cold working the surface.

7. Verification of Testing Machine

7.1 *Verification Methods*—The hardness testing machine shall be verified in accordance with one of the two acceptable methods of verifying Brinell hardness testing machines as given in Test Method B.

7.2 *Test Force Range*—When direct verification is used, the Brinell hardness testing machine is acceptable for use over a test force range within which the error in test force does not exceed $\pm 1\%$. When indirect verification is used, the Brinell hardness machine is acceptable for use over a test force range within which the mean hardness value obtained is within $\pm 3\%$ of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

TABLE 3 Test Conditions

Hardness Symbol	Ball Diameter D , mm	$0.102 F / D^2$	Test Force F Nominal Value
HBW 10/3000	10	30	29.42 kN – (3000 kgf)
HBW 10/1500	10	15	14.71 kN – (1500 kgf)
HBW 10/1000	10	10	9.807 kN – (1000 kgf)
HBW 10/500	10	5	4.903 kN – (500 kgf)
HBW 10/250	10	2.5	2.452 kN – (250 kgf)
HBW 10/125	10	1.25	1.226 kN – (125 kgf)
HBW 10/100	10	1	980.7 N – (100 kgf)
HBW 5/750	5	30	7.355 kN – (750 kgf)
HBW 5/250	5	10	2.452 kN – (250 kgf)
HBW 5/125	5	5	1.226 kN – (125 kgf)
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9 N – (62.5 kgf)
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5 N – (31.25 kgf)
HBW 5/25	5	1	245.2 N – (25 kgf)
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1.839 kN – (187.5 kgf)
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9 N – (62.5 kgf)
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5 N – (31.25 kgf)
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2 N – (15.625 kgf)
HBW 2.5/7.8125	2.5	1.25	76.61 N – (7.8125 kgf)
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29 N – (6.25 kgf)
HBW 2/120	2	30	1.177 kN – (120 kgf)
HBW 2/40	2	10	392.3 N – (40 kgf)
HBW 2/20	2	5	196.1 N – (20 kgf)
HBW 2/10	2	2.5	98.07 N – (10 kgf)
HBW 2/5	2	1.25	49.03 N – (5 kgf)
HBW 2/4	2	1	39.23 N – (4 kgf)
HBW 1/30	1	30	294.2 N – (30 kgf)
HBW 1/10	1	10	98.07 N – (10 kgf)
HBW 1/5	1	5	49.03 N – (5 kgf)
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52 N – (2.5 kgf)
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26 N – (1.25 kgf)
HBW 1/1	1	1	9.807 N – (1 kgf)

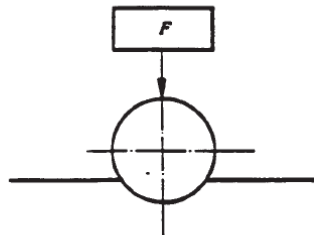


FIG. 1 Principle of Test

requirements of 6.1.1, 6.1.2, and 8.3 may determine the maximum permissible diameter of indentation for a specific test. Table 6 gives standard test forces and approximate Brinell hardness numbers for the above range of indentation diameters. It is not mandatory that the Brinell test conform to these hardness ranges, but it should be realized that different Brinell hardness numbers may be obtained for a given material by using different forces on a 10-mm diameter ball. For the purpose of obtaining a continuous scale of values it may be desirable, however, to use a single force to cover the complete

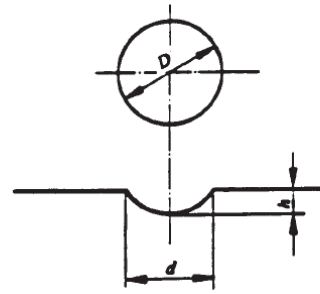


FIG. 2 Principle of Test

TABLE 4 Tolerances for Brinell Hardness Balls

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	±0.005
5	±0.004
2.5	±0.003
2	±0.003
1	±0.003

TABLE 5 Minimum Thickness Requirements for Brinell Hardness Tests

Minimum Thickness of Specimen		Minimum Hardness for Which the Brinell Test May Safely Be Made		
in.	mm	3000-kgf Force	1500-kgf Force	500-kgf Force
1/16	1.6	602	301	100
1/8	3.2	301	150	50
3/16	4.8	201	100	33
1/4	6.4	150	75	25
5/16	8.0	120	60	20
3/8	9.6	100	50	17

TABLE 6 Standard Test Forces

Ball Diameter, mm	Force	Recommended Range, HBW
10	29.42 kN (3000 kgf)	96 to 600
10	14.7 kN (1500 kgf)	48 to 300
10	4.90 kN (500 kgf)	16 to 100

TABLE 7 Hardness Ranges Used By Standard Test Block Method

100 to 200 HBW
300 to 400 HBW
500 to 600 HBW

range of hardness for a given class of materials. For softer metals, forces of 2.45 kN (250 kgf), 1.23 kN (125 kgf), or 0.981 kN (100 kgf) are sometimes used. The force used shall be specifically stated in the test report (see 11.1.2).

(Fuente: NORMA ASTM E 10:01 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials1 Pág. 1,2,5)

ANEXO B6

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E 23:02 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials I



Designation: E 23 – 02a

An American National Standard

Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 23; 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 These test methods describe notched-bar impact testing of metallic materials by the Charpy (simple-beam) test and the Izod (cantilever-beam) test. They give the requirements for: test specimens, test procedures, test reports, test machines (see Annex A1) verifying Charpy impact machines (see Annex A2), optional test specimen configurations (see Annex A3), pre-cracking Charpy V-notch specimens (see Annex A4), designation of test specimen orientation (see Annex A5), and determining the percent of shear fracture on the surface of broken impact specimens (see Annex A6). In addition, information is provided on the significance of notched-bar impact testing (see Appendix X1), methods of measuring the center of strike (see Appendix X2), and the availability of Charpy V-notch verification specimens (see Appendix X3).

1.2 These test methods do not address the problems associated with impact testing at temperatures below $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320\text{ }^{\circ}\text{F}$, 77 K).

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units are provided for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in Section 5.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²

E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials³

E 604 Test Method for Dynamic Tear Energy of Metallic Materials³

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method²

E 1271 Practice for Qualifying Charpy Verification Specimens of Heat-treated Steel³

E 1313 Guide for Recommended Formats for Data Records Used in Computerization of Mechanical Test Data for Metals⁴

3. Summary of Test Method

3.1 The essential features of an impact test are: a suitable specimen (specimens of several different types are recognized), a set of anvils, and specimen supports on which the test specimen is placed to receive the blow of the moving mass, a moving mass that has sufficient energy to break the specimen placed in its path, and a device for measuring the energy absorbed by the broken specimen.

4. Significance and Use

4.1 These test methods of impact testing relate specifically to the behavior of metal when subjected to a single application of a force resulting in multi-axial stresses associated with a notch, coupled with high rates of loading and in some cases with high or low temperatures. For some materials and temperatures the results of impact tests on notched specimens, when correlated with service experience, have been found to predict the likelihood of brittle fracture accurately. Further information on significance appears in Appendix X1.

5. Precautions in Operation of Machine

5.1 Safety precautions should be taken to protect personnel from the swinging pendulum, flying broken specimens, and hazards associated with specimen warming and cooling media.

6. Apparatus

6.1 General Requirements:

6.1.1 The testing machine shall be a pendulum type of rigid construction.

6.1.2 The testing machine shall be designed and built to conform with the requirements given in Annex A1.

6.2 Inspection and Verification

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.07 on Impact Testing.

Current edition approved Nov. 10, 2002. Published May 2003. Originally approved in 1933. Last previous edition approved 2002 as E 23 – 02.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.01.

6.2.1 Inspection procedures to verify impact machines directly are provided in A2.2 and A2.3. The items listed in A2.2 must be inspected annually.

6.2.2 The procedures to verify Charpy V-notch machines indirectly, using verification specimens, are given in A2.4. Charpy impact machines must be verified annually.

7. Test Specimens

7.1 Configuration and Orientation:

7.1.1 Specimens shall be taken from the material as specified by the applicable specification. Specimen orientation should be designated according to the terminology given in Annex A5.

7.1.2 The type of specimen chosen depends largely upon the characteristics of the material to be tested. A given specimen may not be equally satisfactory for soft nonferrous metals and hardened steels; therefore, many types of specimens are recognized. In general, sharper and deeper notches are required

to distinguish differences in very ductile materials or when using low testing velocities.

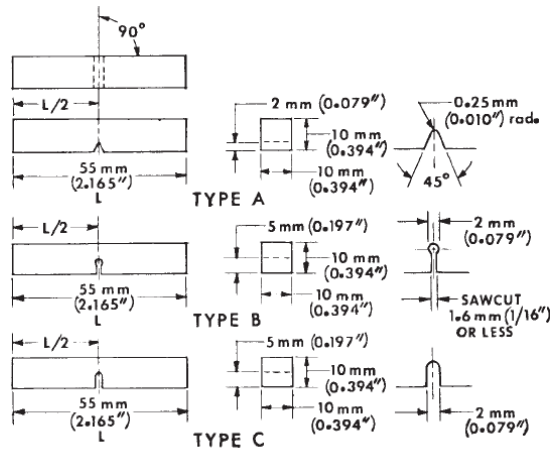
7.1.3 The specimens shown in Figs. 1 and 2 are those most widely used and most generally satisfactory. They are particularly suitable for ferrous metals, excepting cast iron.⁵

7.1.4 The specimen commonly found suitable for die-cast alloys is shown in Fig. 3.

7.1.5 The specimens commonly found suitable for powdered metals (P/M) are shown in Figs. 4 and 5. The specimen surface may be in the as-produced condition or smoothly machined, but polishing has proven generally unnecessary. Unnotched specimens are used with P/M materials. In P/M materials, the impact test results are affected by specimen orientation. Therefore, unless otherwise specified, the position of the specimen in the machine shall be such that the pendulum will strike a surface that is parallel to the compacting direction.

7.1.6 Sub-size and supplementary specimen recommendations are given in Annex A3.

⁵ Report of Subcommittee XV on Impact Testing of Committee A-3 on Cast Iron, Proceedings, ASTM, Vol 33 Part 1, 1933.



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Cross-section dimensions	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Length of specimen (L)	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)
Centering of notch (L/2)	± 1 mm (± 0.039 in.)
Angle of notch	± 1°
Radius of notch	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Notch depth:	
Type A specimen	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Types B and C specimen	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Finish requirements	2 μm (63 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

FIG. 1 Charpy (Simple-Beam) Impact Test Specimens, Types A, B, and C

(Fuente: NORMA ASTM E 23:02 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials1 Pág. 1-2)

ANEXO B7

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM B4.0:92 Standard Methods for Mechanical Testing of Welds

AWS B4.0 92 ■ 0784265 0500793 T85 ■

Standard Methods for Mechanical Testing of Welds

Part A *Testing of Groove Welds*

A1. Bend Tests

1. Scope

1.1 This section covers the bend testing of groove welds in butt joints and the bend testing of surfacing welds. The standard gives the requirements for bend test specimen preparation, test parameters, and testing procedures but does not specify the bend radius requirements or acceptance criteria.

1.2 The base materials may be homogenous, clad, or otherwise surfaced, except for hardfacing.

1.3 This standard is applicable to the following, where specified:

- (1) Qualification of materials, welding personnel and welding procedures
- (2) Information, specifications of acceptance, manufacturing quality control
- (3) Research and development

1.4 When this standard is used, the following information shall be furnished:

- (1) The specific location and orientation of the specimens
- (2) The specific types of tests, for example, face-bend, side-bend, or root-bend, and number of specimens required
- (3) The type of data required and observations to be made
- (4) Bend radius or percent (%) elongation
- (5) Post weld thermal or mechanical processing treatments

2. Applicable Documents

Reference should be made to the latest edition of the following documents:

- | | |
|------------|---|
| ANSI B46.1 | Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay) |
| ASTM E190 | Standard Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds |
| ASTM A370 | Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products |
| AWS A2.4 | Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination |
| AWS A3.0 | Standard Welding Terms and Definitions Including Terms for Brazing, Soldering, Thermal Spraying and Thermal Cutting |

The sources for these documents are the following:

- American National Standard Institute (ANSI)
1430 Broadway
New York, New York 10018
- American Society for Testing & Materials (ASTM)
1916 Race Street
Philadelphia, Pennsylvania 19103-2287
- American Welding Society (AWS)
550 N.W. LeJeune Road
P.O. Box 351040
Miami, Florida 33135

2/Testing of Groove Welds

3. Summary of Method

3.1 The specimens are guided in the bending process with a test jig that employs a mandrel with wrap-around roller or end supports with plunger.

3.2 The maximum strain on the tension surface is controlled by the thickness of the specimen and the radius of the mandrel or plunger.

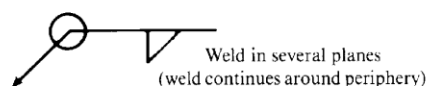
4. Significance

4.1 The ductility of a welded joint, as evidenced by its ability to resist tearing, and the presence of discontinuities on the tension surface are determined in a guided-bend test.

4.2 Bend tests are used to determine incomplete fusion, tearing, delamination, effect of bead configuration, and macro-discontinuities of weld cladding.

5. Definitions and Symbols

The welding symbols and terms used in this section are in accordance with the latest edition of ANSI/AWS A2.4, *Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination* and ANSI/AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*.



Unless otherwise noted, the following designations are used:

- A = plunger radius
- B = die radius
- ID = inside diameter
- L = test plate length
- R = radius
- S = surfacing weld thickness
- t = thickness of test weldment
- T = specimen thickness
- W = specimen width

6. Apparatus

6.1 Guided-bend specimens may be tested in either of two types of fixture. One type is the guided-bend fixture, which is designed to support and load the specimen in a three point bending mode. The alternate is a wrap-around bend fixture that fixes one end of the specimen and uses a roller to force the specimen to bend around a mandrel.

6.2 The guided-bend fixture shall have the dimensions given in Figures A1 or A2.

6.3 The wrap-around bend fixture shall have the dimensions given in Figure A3.

6.4 The radii of the plunger shown in Figures A1 and A2 or the mandrel shown in Figure A3 shall be specified, or determined from the relationship expressed by Figure A4 between minimum specified metal elongation, and the thickness of the specimen.

7. Specimens

Bend test specimens shall be prepared by cutting the weld and the base metal to form a specimen rectangular in cross section. The surfaces cut transverse to the weld shall be designated as the sides of the specimen; the other two surfaces shall be designated as the face and root surfaces, as appropriate. Transverse specimens may have the side, face, or root of the weld as the tension surface. Longitudinal specimens may have the face or the root of the weld as the tension surface of the specimen.

7.1 Transverse Side-Bend. The longitudinal axis of the specimen is perpendicular to the weld, and the specimen is bent so that one of the side surfaces becomes the tension surface of the specimen. The side showing the more significant discontinuities (if any) shall be the tension side. Transverse side-bend test specimens shall conform to the requirements of Figure A5. Transverse side-bend specimens are used for plates or pipe that are too thick for face-bend or root-bend specimens and are recommended for welds with narrow fusion zones.

7.2 Transverse Face-Bend. The longitudinal axis of the specimen is perpendicular to the weld and the specimen is bent so that the weld face becomes the tension surface of the specimen. Transverse face-bend specimens shall comply with the requirements of Figure A6 for plate and Figure A7 for pipe welds.

7.3 Transverse Root-Bend. The longitudinal axis of the specimen is perpendicular to the weld, and the specimen is bent so that the root surface of the weld becomes the tension surface of the specimen. Transverse root-bend specimens shall comply with the requirements of Figure A6 for plate and Figure A7 for pipe welds.

7.4 Longitudinal Face-Bend. The longitudinal axis of the specimen is parallel to the weld and the specimen is bent so that the face of the weld becomes the tension surface of the specimen. Longitudinal face-bend specimens shall comply with the requirements of Figure A8.

20 Testing of Groove Welds



Dimensions

Nominal Diameter	Standard specimen		Small size specimens proportional to standard									
	in.	mm*	in.	mm*	in.	mm*	in.	mm*	in.	mm*	in.	mm*
G. gage length	2.000±0.005	51.0±0.125	1.400±0.005	35.5±0.125	1.000±0.005	25.5±0.125	0.640±0.005	16.0±0.125	0.450±0.005	11.5±0.125	0.113	2.85
D. diameter (Note 1)	0.500-0.010	12.5±0.255	0.350±0.007	8.90±0.180	0.250±0.005	6.35±0.125	0.160±0.003	4.05±0.075	0.113±0.002	2.85±0.05	3/32	2.5
R. radius of fillet min	3/8	9.5	1/4	6.5	3/16	5.0	5/32	4.0	5/8	16.0	3/4	19.0
A. length of reduced section min (Note 2)	2-1/4	57.0	1-3/4	44.5	1-1/4	32.0	3/4	19.0	5/8	16.0	5/8	16.0

Standard 0.500 in. round tension test specimens with 2 in. gage length and examples of small size specimens with 2 in. gage length and examples of small size specimens proportional to the standard specimen.

*Rounded to the nearest 0.5 mm or 0.05 mm

Notes:

1. The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 1 percent larger in diameter than the center (controlling dimension).
2. If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should nevertheless be spaced at the indicated gage length.
3. The gage length and fillets shall be as shown but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial. If the ends are to be held in wedge grips it is desirable to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to 2/3 or more of the length of the grips.
4. On the round specimens, the gage lengths are equal to 4 times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for but unless the 4 to 1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen. Note that most metric based codes use a 5 to 1 ratio of gage length to diameter.
5. The use of specimens smaller than 0.25 in. diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.
6. To permit easy calculations of stress from loads, five sizes of specimens have the following diameters: 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in. When the actual diameters agree with these values, the stresses or strengths may be computed using the multiplying factors: 5, 10, 20, 50, and 100.
7. For transverse weld specimens, the weld shall be approximately centered between gage marks.

Figure A11 — Round Tensile Specimens

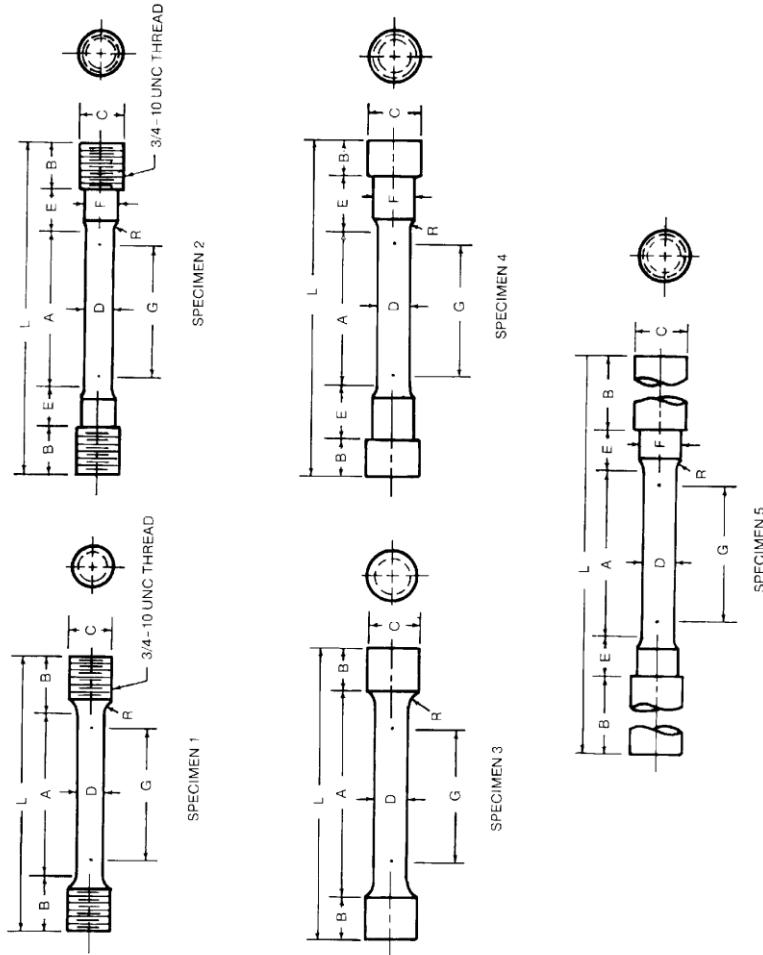


Figure A11 (Continued) — Round Tensile Specimens

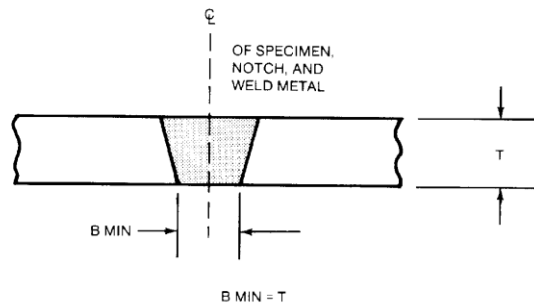


Figure A16 — Minimum Width of Weld Metal for a Weld-Metal Fracture Toughness Specimen

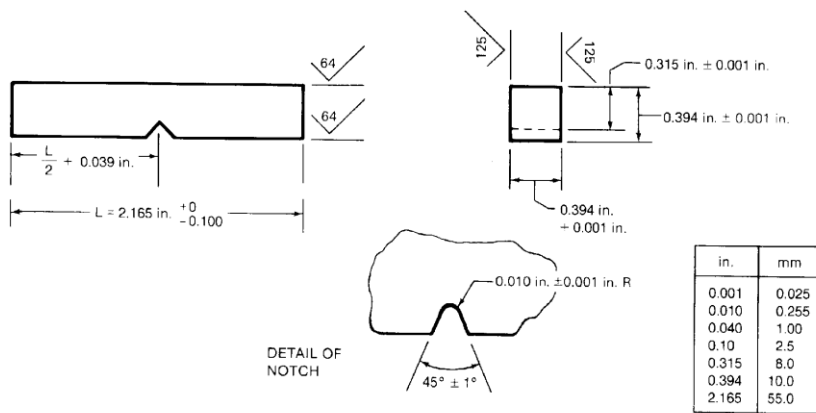


Figure A17 — Charpy V-Notch Impact Specimen

(Fuente: NORMA ASTM B4.0:92 Standard Methods for Mechanical Testing of Welds)