



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

TEMA:

**“ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS DUROS EN UNIONES SOLDADAS
DE ACERO AL CARBONO A36 MEDIANTE EL PROCESO SMAW Y
SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: Egdo. José Luis Telenchana Yanqui

TUTOR: Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega

AMBATO-ECUADOR
2013

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del presente Trabajo Estructurado de Manera Independiente previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema **“ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS DUROS EN UNIONES SOLDADAS DE ACERO AL CARBONO A36 MEDIANTE EL PROCESO SMAW Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, ejecutado por el señor José Luis Telenchana Yanqui, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor y ha sido concluido bajo el plan de tesis aprobado.

Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega
Tutor

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones, recomendaciones y propuesta bajo el tema “ *ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS DUROS EN UNIONES SOLDADAS DE ACERO AL CARBONO A36 MEDIANTE EL PROCESO SMAW Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS*” nos corresponde exclusivamente al Egresado José Luis Telenchana Yanqui y del Ingeniero Mg. Wilson Henry Vaca Ortega Tutor del trabajo de investigación.

Egdo. José Luis Telenchana Yanqui
Autor

Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega
Tutor

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación que fue realizado con mucho esfuerzo está dedicado: a mis padres Luis y Olga quienes son la base muy esencial para el crecimiento como persona y como profesional. A mis hermanos Geovanny y Ligia por darme apoyo y consejos de hermanos mayores. A mi compañera de vida Angélica por su gran paciencia y comprensión. A mi tía Lourdes por ser fuente de respeto y honestidad. A mi primo Raúl quien me apoya incansablemente, a DIOS junto con mi abuelita Rosa que es el motivo de todo lo que consiga en el futuro. A mi tutor Henry quien me encamino por el camino correcto para realizar este trabajo de investigación. A mis familiares cercanos con quienes he compartido la alegría de la vida. A quienes supieron apoyar mis decisiones en el transcurso de toda mi vida y de quienes aprendí los valores de responsabilidad, cumplimiento, superación y respeto para alcanzar todos mis objetivos. A mis profesores de la carrera de Ingeniería Mecánica quienes me brindaron sus sabios conocimientos con paciencia y dedicación, a mis mejores amigos y compañeros de quienes siempre he recibido lo mejor. “GRACIAS”

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios por brindarme la vida, la salud, y la capacidad para la culminación del actual trabajo de investigación siendo mi guía y mi luz brindándome la fuerza, la sabiduría y por dejarme observar la luz del amanecer hasta hoy día.

A mis padres que con su amor, paciencia y comprensión supieron apoyarme en todo momento sin importar las dificultades que se presenten en la vida y me formaron como una persona de bien, responsable y humilde.

A mi compañera de vida Angélica por llenarme de amor, cariño, ternura y comprensión, por tenerme mucha paciencia en todas las cosas que desarrollo en mi vida cotidiana.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, mis maestros de aula que supieron transmitir sus valiosos conocimientos, que han sido muy necesarios para mi formación como profesional.

A mis amigos, familiares y a cada una de las personas que generosamente ayudaron de una u otra manera para que este trabajo de investigación se lo haga realidad.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

TÍTULO	I
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TUTOR	II
PÁGINA AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	III
PÁGINA DEDICATORIA	IV
PÁGINA AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	X
RESUMEN EJECUTIVO	XV

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1. EL PROBLEMA	1
1.1 Tema	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.2.1 Contextualización del Problema	1
1.2.2 Análisis Crítico	2
1.2.3 Prognosis	3
1.2.4 Formulación del Problema	3
1.2.5 Preguntas Directrices	3
1.2.6 Delimitación del Problema	4
1.2.6.1 Delimitación de Contenido	4
1.2.6.2 Delimitación Espacial	4
1.2.6.3 Delimitación Temporal	4
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes investigativos	7
2.2 Fundamentación filosófica	8
2.3 Fundamentación legal	8
2.4 Categorías fundamentales	9
2.4.1 Análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW	10
2.4.1.1 Acero al carbono ASTM A36	10
2.4.1.2 Propiedades y características	10
2.4.1.3 Microestructura de los aceros	11
2.4.1.4 Recubrimientos duros	13
2.4.1.5 Tipos de desgaste	15
2.4.2 Procesos de fabricación	17
2.4.3 Taller de soldadura	18
2.4.3.1 Soldadura	18
2.4.3.2 Soldabilidad	18
2.4.3.3 Tipos de juntas	18
2.4.3.4 Tipos de soldadura	19
2.4.3.5 Partes de las juntas	21
2.4.3.6 Posiciones de la soldadura	22
2.4.3.7 Proceso de soldadura SMAW	23
2.4.3.8 Electrodo para soldadura de arco	26
2.4.3.9 Zonas metalúrgicas de la soldadura	36
2.4.3.10 Transformaciones del acero durante la soldadura	37
2.4.4 Ingeniería de materiales	38
2.4.5 Ensayos y propiedades mecánicas	39
2.4.5.1 Ensayo de tensión	40
2.4.5.2 Valores de propiedades mecánicas obtenidos del ensayo de tracción y del diagrama tensión-deformación convencional	42

2.4.5.3 Ensayo de dureza	46
2.4.5.4 Ensayo por fractura o impacto	52
2.4.5.5 Ensayos metalográficos	55
2.5 Hipótesis	59
2.6 Señalamiento de variables.	59
2.6.1 Variables	59
2.6.2 Término de relación	59

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA	60
3.1 Enfoque	60
3.2 Modalidad y tipo de la investigación	60
3.2.1 Modalidad básica de la investigación	60
3.3 Nivel o Tipo de Investigación	61
3.4 Población y muestra	62
3.4.1. Población	62
3.4.2 Muestra	62
3.5 Operacionalización de variables	63
3.6. Recolección de la Información	65
3.7 Procesamiento y Análisis	65

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	66
4.1 Análisis de los resultados	66
4.1.1 Diseño de la junta soldada	66
4.1.2 Elección del tipo de electrodo	66
4.1.3 Pases a realizar en la junta	67
4.2 Proceso de análisis de resultados	67
4.3 Presentación de resultados	70
4.3.1 ANÁLISIS DEL ACERO ASTM A36 COMO	71

VIENE DE FÁBRICA	
4.3.1.1 ANÁLISIS METALOGRAFICO DEL ACERO ASTM A36 COMO VIENE DE FÁBRICA	72
4.3.2.0 ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B84	74
4.3.2.1 ENSAYO DE IMPACTO DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B84	84
4.3.2.2 ENSAYO METALOGRAFICO DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B84	85
4.3.2.3 ENSAYO DE DUREZA DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B84	91
4.3.3.0 ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B85	96
4.3.3.1 ENSAYO DE IMPACTO DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B85	106
4.3.3.2 ENSAYO METALOGRAFICO DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B85	107
4.3.3.3 ENSAYO DE DUREZA DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B85	113
4.3.4.0 ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETAS CON ELECTRODO E-7018	118
4.3.4.1 ENSAYO DE IMPACTO DE PROBETAS CON ELECTRODO E-7018	128
4.3.4.2 ENSAYO METALOGRAFICO DE PROBETAS CON ELECTRODO E-7018	129
4.3.4.3 ENSAYO DE DUREZA DE PROBETAS CON ELECTRODO E-7018	135
4.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	140
4.4.1 Ensayo de tracción de las probetas	140
4.4.2 Ensayo de impacto de las probetas	147
4.4.3 Ensayo metalográfico de las probetas	150
4.4.4 Ensayo de dureza de las probetas	159

4.5 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	164
-------------------------------	-----

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	166
5.1 Conclusiones	166
5.2 Recomendaciones	169

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA	173
6.1 DATOS INFORMATIVOS	173
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	174
6.3 JUSTIFICACIÓN	174
6.4 OBJETIVOS	175
6.4.1 Objetivo general	175
6.4.2 Objetivos específicos	175
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	176
6.6 FUNDAMENTACIÓN	176
6.7 METODOLOGÍA	176
6.7.1 PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL ELECTRODO AGA B84	177
6.8 ADMINISTRACIÓN	194
6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN	196

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 2.1 Diagrama de Fases Hierro – Carburo de Hierro.	12
[Adaptado de Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990.ASM International, Materials Park, OH.].	
Figuras (2.2a, 2.2b, 2.2c) Desgaste por abrasión.	15

Figura 2.3 Desgaste metal-metal.	16
Figuras (2.4a, 2.4b, 2.4c) Desgaste por impacto, temperatura y corrosión.	17
Figura 2.5 Soldadura por fusión.	18
Figura 2.6 Tipo de juntas.	19
Figura 2.7a Tipos de soldaduras.	20
Figura 2.7b Tipos de soldaduras (doble V y Bisel sencillo).	20
Figura 2.8a Partes de las Juntas a Tope.	21
Figura 2.8b Componentes de juntas soldadas.	22
Figura 2.9 Posiciones de las soldaduras según ANSI/AWS A3.0-8.	23
Figura 2.10 Elementos de un arco eléctrico.	25
Figura 2.11 Zonas metalúrgicas producidas en una junta soldada.	37
Figura 2.12 Relación aproximada de las temperaturas picos en las juntas soldadas y el diagrama Fe-C.	38
Figura 2.13 Máquina Universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn).	40
Figura 2.14 Diagrama Esfuerzo-Deformación.	41
Figura 2.15 Probetas para ensayo a tracción según ASTM.	41
Figura 2.16a Límite elástico al 0,2 %.	44
Figura 2.16b Curva típica de tracción hasta la fractura.	45
Figura 2.16c Representación esquemática de los diagramas de tracción de materiales frágiles, y dúctiles ensayados hasta la fractura.	46
Figura 2.17. Durómetro para ensayos.	47
Figura 2.18 (a, b y c) Pasos dureza Brinell.	48
Figura 2.19 Secuencia de ensayo de dureza Rockwell.	51
Figura 2.20 Esquema y probetas del ensayo Charpy e Izod.	54
Figura 2.21a Plantillas de comparación.	55
Figura 2.21b Método planimétrico.	56
Figura 2.21c Geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección.	57

Figura 2.21d: Geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección.	58
Figura 4.1 Diseño de juntas soldadas.	66
Figura 4.2 Pases de Soldadura.	67
Figura 4.3a Valores promedios comparativos de porcentaje de Elongación con respecto al electrodo E-7018.	142
Figura 4.3b. Valores promedios comparativos de porcentaje de Reducción de Área con respecto al electrodo E-7018.	143
Figura 4.3c Valores promedios comparativos de Resistencia a la tracción con respecto al electrodo E-7018.	144
Figura 4.3d Valores promedios comparativos de Resistencia a la cedencia con respecto al electrodo E-7018.	145
Figura 4.3e. Valores promedios comparativos de Módulo de Elasticidad con respecto al electrodo E-7018.	146
Figura 4.4 Valores promedios comparativos de energía absorbida con respecto al electrodo E-7018.	149
Figura 4.5a Valores comparativos de tamaño de grano ASTM en (Metal Base) con respecto al electrodo E-7018.	152
Figura 4.5b Valores comparativos de tamaño de grano ASTM en (ZAT) con respecto al electrodo E-7018.	153
Figura 4.5c Valores comparativos de tamaño de grano ASTM en (Material de Aporte) con respecto al electrodo E-7018.	154
Figura 4.5d Valores comparativos del porcentaje de perlita en (Metal base) con respecto al electrodo E-7018.	155
Figura 4.5e Valores comparativos del porcentaje de perlita en (ZAT) con respecto al electrodo E-7018.	156
Figura 4.5f Valores comparativos del porcentaje de ferrita en (Metal base) con respecto al electrodo E-7018.	157
Figura 4.5g Valores comparativos del porcentaje de ferrita en (ZAT) con respecto al electrodo E-7018.	158
Figura 4.6a Valores promedios comparativos de dureza a	161

(0 mm) del centro de soldadura con respecto al electrodo E-7018.	
Figura 4.6b Valores promedios comparativos de dureza a	162
(5 mm) del centro de soldadura con respecto al electrodo E-7018.	
Figura 4.6c Valores promedios comparativos de dureza a	163
(8 mm) del centro de soldadura con respecto al electrodo E-7018.	
Figura 5 Parte inferior interna sometida a desgaste	179
Por abrasión (cucharón).	
Figura 5.1 Forma cónica del material pétreo.	180
Figura 5.2 Parte inferior interna del cucharón (Zonificación).	181
Figura 5.3 Corte y remoción de material desgastado.	182
Figura 5.4 Limpieza, desprendimiento de rebabas y	183
preparación de junta y superficie.	
Figura 5.5 Equipo de protección personal	186
Figura 5.6a Espacio de trabajo a realizar la limpieza.	187
Figura 5.6b Elementos combustibles prohibidos durante el	188
proceso de soldadura.	
Figura 5.7 Fuente de poder (Máquina de soldar).	189
Figura 5.8 Aplicación del electrodo AGA B84.	190
Figura 5.9 Disposición adecuada de cordones	191
en parche reparador.	

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 2.1a Composición química del acero A36.	11
Tabla 2.1b Datos de propiedades del acero ASTM A36.	11
Tabla 2.2a Designación para electrodos según AWS.	27
Tabla 2.2b Especificación condensada para electrodos SMAW.	28
Tabla: 2.3 Características del electrodo E 7018.	29
Tabla: 2.4a Características del depósito.	30
Tabla: 2.4b. Gráfica comparativa de propiedades.	30
Tabla 2.5a Relaciones entre dureza, espesor de la	49
probeta y carga a aplicar.	

Tabla 2.5b Criterio para seleccionar el diámetro del penetrador .	50
Tabla 2.6 Factor de corrección Q.	56
Tabla 3.5.1 Variable Independiente.	63
Tabla 3.5.2 Variable Dependiente.	64
Tabla 4.2.1 Valores del ensayo a tracción con electrodo AGA B84.	141
Tabla 4.2.2 Valores del ensayo a tracción con electrodo AGA B85.	141
Tabla 4.2.3 Valores del ensayo a tracción con electrodo E-7018.	141
Tabla 4.2.4. Valores de ensayo Charpy.	147
Tabla 4.2.5 Valores promedio de ensayo Charpy.	148
Tabla 4.2.6 Tamaño de grano ASTM en juntas soldadas.	151
Tabla 4.2.7 Porcentaje de perlita en juntas soldadas.	151
Tabla 4.2.8 porcentaje de ferrita en juntas soldadas.	151
Tabla 4.2.9 Dureza obtenida en juntas soldadas con electrodo AGA B84	160
Tabla 4.2.10 Dureza obtenida en juntas soldadas con electrodo AGA B85.	160
Tabla 4.2.11 Dureza obtenida en juntas soldadas con electrodo AGA E-7018.	160
Tabla 4.2.12 Comparación de algunas propiedades mecánicas.	164
Tabla 6.2 Costo total de la investigación.	194
Tabla 6.3 Costo total de propuesta.	195

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de investigación se realiza el análisis revestimientos duros con electrodos AGA B84, AGA B85 y E-7018 en juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, el mismo que tiene por objeto analizar y comparar las propiedades mecánicas de dichos materiales de aporte.

Para la realización de éste trabajo, se empezó con la obtención de probetas en juntas soldadas de acero al carbono A36 de ½” de espesor, en las cuales se preparó una junta apropiada para realizar el proceso de soldadura SMAW, posteriormente se aplicó los distintos materiales de aporte los cuales a criterio del autor podían servir como revestimiento duro para reparar y recuperar las piezas desgastadas.

Las pruebas y ensayos realizados en dichas juntas fueron: tracción, dureza, impacto y análisis metalográfico los mismos que fueron ejecutados 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 la aplicación de los tres electrodos en mención.

Por último se desarrolló un procedimiento con el electrodo que obtuvo mejor combinación en sus propiedades mecánicas, el cual servirá de guía para la aplicación como revestimiento duro en parches de reparación en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica, con el fin de disminuir costos por adquisición de uno nuevo. Cabe destacar que realizado esta guía de aplicación podrá ser utilizada en pequeñas y grandes industrias, donde se requiera dar un recubrimiento protector en diferentes piezas mecánicas sometidas a desgaste por abrasión.

Palabras Claves: Electrodo, soldadura, propiedades mecánicas, ensayos mecánicos, tracción, dureza, metalografía, cucharón de pala mecánica, revestimiento duro.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Tema: Análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW y su incidencia en las propiedades mecánicas.

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 Contextualización del Problema.

En Sudamérica los países más desarrollados industrialmente, como Brasil, Argentina, Colombia se encuentran cantidad de empresas e industrias las mismas que han venido desarrollando varios métodos para dar mejores propiedades a los materiales en las diferentes aplicaciones, una manera de conseguir este objetivo es la aplicación de revestimientos duros, teniendo muy en cuenta que estas empresas trabajan bajo normas internacionales y cuentan con el aval de las respectivas certificaciones internacionales razón por las cuales sus costos son elevados.

En la actualidad existen muchas clases de aceros aleados y aceros para elementos de máquinas, cada uno requiere un tratamiento especial en su proceso de manufactura, para mejorar sus propiedades mecánicas y que cumplan con las especificaciones requeridas.

A nivel nacional son muy pocas las empresas inmersas en este tema de investigación, en su gran mayoría prefieren no referirse, por lo tanto no tiene fundamentación científica y sus conocimientos son empíricos. En la provincia existe un gran número de industrias metalmecánicas, que utilizan elementos de máquinas sólidas y soldadas sin previo análisis para mejorar las propiedades de los mismos, éstas luego de determinado tiempo presentan defectos de varios tipos,

haciéndolas poco competitivas. Se puede demostrar que al realizar éste estudio se lo puede aplicar en las diferentes ramas de la industria de nuestro país y específicamente en la provincia de Tungurahua para contribuir en el desarrollo tecnológico en ésta área.

La situación en la construcción de elementos de máquinas soldadas en la ciudad de Ambato principalmente en los talleres es la falta de tecnología, técnicas y maquinaria ya que sus productos no pueden tener buenas propiedades mecánicas en comparación con otras empresas muy grandes.

En la Universidad Técnica de Ambato no existen estudios sobre este tema, con el mismo se va a aportar en gran magnitud a los estudiantes, para las guías sobre cómo se comporta un acero al carbono A36 al aplicar revestimientos duros mediante el proceso SMAW con relación a las propiedades mecánicas del mismo.

1.2.2 Análisis Crítico.

El presente proyecto está orientado a facilitar la apertura de nuevas fuentes de investigación.

El problema existente se genera por el simple hecho, que en diferentes reparaciones por soldadura de cualquier componente de máquina, sometido a trabajos ceberos y exigentes de alta resistencia, en estas exista desgaste prematuro.

Al realizar un análisis de revestimientos duros en las uniones soldadas mediante el proceso SMAW de acero al carbono A36, que poseen diversos elementos de máquina, ayudara a evitar el desgaste prematuro y brindara el buen funcionamiento de las máquinas.

A nivel de industria, una manera de conseguir lo mencionado es mejorando las propiedades mecánicas de los elementos de las mismas.

1.2.3 Prognosis.

Si no se realiza el análisis de revestimientos duros en las uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, no se podrá determinar las propiedades mecánicas que se obtiene mediante la aplicación de estos, con lo cual, ocurra pare de la producción ya sea por mantenimiento o reconstrucción y exista pérdidas económicas muy elevadas.

Además es importante señalar que, el estudio pretende servir como fuente de referencia para otro tipo de estudios enfocados a contribuir con el desarrollo de nuevas técnicas, aplicaciones y métodos en cuanto a los revestimientos duros aplicados en las piezas de elementos de máquina.

1.2.4 Formulación del Problema.

¿Qué revestimientos duros serán los adecuados para el mejoramiento de las propiedades mecánicas en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW?

1.2.5 Preguntas Directrices.

¿Se podrá mejorar las propiedades mecánicas con la aplicación de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW?

¿Qué electrodos serán los adecuados, para que garanticen obtener buenas propiedades mecánicas en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW?

¿Qué procedimiento se deben tomar en cuenta para aplicar un revestimiento duro en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW?

¿Qué especificaciones será la aplicable para la realización de ensayos, en cuanto a las propiedades mecánicas en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW?

1.2.6 Delimitación del Problema.

1.2.6.1 Delimitación de Contenido.

Tema: Análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW y su incidencia en las propiedades mecánicas.

Aspecto: Procesos de fabricación

Área: Soldadura.

Campo: Ingeniería de materiales.

1.2.6.2 Delimitación Espacial.

La recopilación bibliográfica se realizó en libros, revistas, catálogos y normas; así como también accediendo a páginas de internet de la biblioteca virtual de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica dentro de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi.

Además para determinar las propiedades mecánicas se lo desarrollo en el laboratorio de materiales de la misma facultad e institución.

1.2.6.3 Delimitación Temporal.

El tiempo para la realización de esta investigación fue entre los meses de Septiembre 2012 a Abril del 2013.

1.3 Justificación.

La importancia de realizar este proyecto involucra una investigación profunda para que dicho proyecto se lleve a cabo ya que es un tema teórico-práctico y necesita ser investigado.

Además es convincente que este estudio sea acogido por las personas que se desenvuelven en este campo para mejorar las propiedades de los elementos de

máquinas, pues ésta será una alternativa de innovación que solucionará muchos problemas que se tiene en la actualidad.

De modo que al realizar un análisis de revestimientos duros en juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW será factible, ya que se cuenta con la bibliografía, talleres, equipos y probetas, los mismos que se pueden encontrar en nuestro medio con un costo cómodo, necesarios para el desarrollo de dicho análisis, además se cuenta con el personal calificado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Este proyecto es sumamente práctico ya que puede ser aplicado a diferentes campos y áreas en donde se requiera emplear revestimientos duros; por estas razones es factible realizar este proyecto el cual nos ofrecerá beneficios como: evitar desgaste prematuro en uniones soldadas de los elementos de máquinas, brindar un mejoramiento en sus propiedades mecánicas para así evitar paros por reparación y pérdidas económicas elevadas.

1.4 Objetivos:

1.4.1 Objetivo General:

- Realizar el análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, para determinar las propiedades mecánicas obtenidas mediante su aplicación.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Analizar el mejoramiento de las propiedades mecánicas con la aplicación de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW.

- Determinar que electrodos serán los adecuados, para que garanticen obtener buenas propiedades mecánicas en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW.
- Evaluar la variación de las propiedades mecánicas, mediante la aplicación de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW.
- Establecer el tipo de revestimiento duro que mejor combinación presente en sus propiedades mecánicas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el presente estudio se ha tomado como referencia:

- ✓ Chalá Gonzalón Jorge Xavier y Molina Velasco Edwin Daniel: *Analizaron y seleccionaron los procesos para recubrimientos duros en la recuperación de piezas industriales*, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL: Quito - Ecuador, 2010.
- ✓ José Luddey Marulanda y Gonzalo Trujillo S: *Realizaron una recuperación de piezas desgastadas con recubrimientos protectores*, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira - Colombia 2007.
- ✓ Adolfo Bolívar Falcón Ortega: *Realizó la aplicación de recubrimientos duros – protectores por arco eléctrico – electrodo revestido en las cuchillas centrales de molinos de caña*, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Guayaquil - Ecuador, 2002.
- ✓ Iván Rodrigo Armijo Verdezoto: *Realizó un Análisis de Soldadura de una Plataforma para Transporte de Maquinaria Pesada*, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Guayaquil – Ecuador, 2007.
- ✓ Juan Manuel Cona Guzmán: *Realizó ensayos destructivos y no destructivos de probetas de acero soldadas con electrodos revestidos*, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, Valdivia – Chile, 2005.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La investigación se lo realizó aplicando un paradigma crítico propositivo por identificación del cambio debido a la innovación de nuevos métodos y técnicas que permiten economizar y optimizar procesos de fabricación.

La visión de la realidad se da como una visión completa, utilizando un enfoque total de los diferentes ámbitos que influyen a la responsabilidad social de las personas.

El análisis de la investigación debe ser abierto y flexible debido a los diferentes cambios y propuestas que se pueden dar para su mejoramiento.

En las últimas generaciones se ha llevado un gran avance científico en todas las áreas, éste es el motivo que ha llevado a la ingeniería de materiales a desarrollarse y a sufrir un gran avance, motivo por el cual obliga al ingeniero mecánico a ponerse al día en lo referente al estudio de los revestimientos duros, ya que es un campo de gran utilidad para el desarrollo industrial.

Para realizar el análisis se tomó en cuenta normas las cuáles serán las internacionales pues dentro del país existe poca información que se tiene acerca del tema de investigación.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.

Las normas para el diseño y análisis están desarrolladas tanto por la AWS, y la ASTM, dentro las normas americanas, para lo cual se revisó normas adecuadas para realizar la presente investigación. De acuerdo a esta, se recomienda las siguientes:

- ✓ AWS - B4.0:2007: Standard Methods for Mechanical Testing of Welds.
- ✓ ASTM A36: Standard Specification for Carbon Structural Steel¹.
- ✓ ASTM E-3: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens¹.

- ✓ ASTM E-112: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size¹.
- ✓ 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-111: Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus¹.
- ✓ ASTM E-8: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹.
- ✓ ASTM E-23: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹.
- ✓ Catálogo-Manual AGA Especificaciones de los electrodos.

2.4.- Categorías fundamentales:

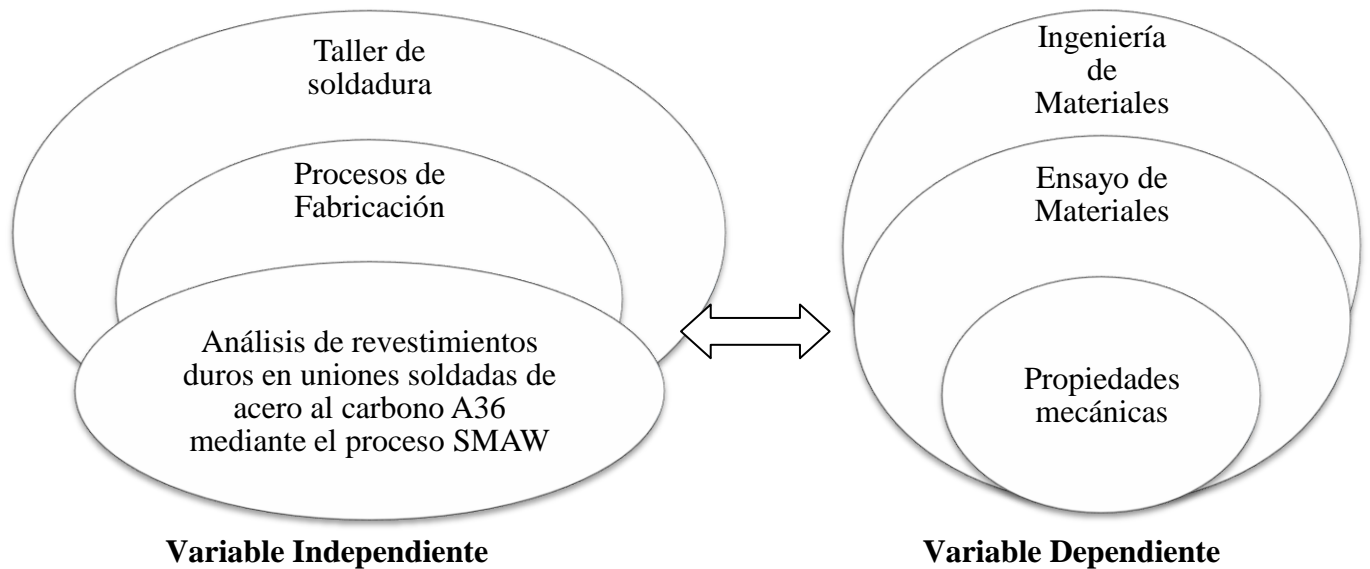


Figura 2.1: Categorías Fundamentales

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

2.4.1 ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS DUROS EN UNIONES SOLDADAS DE ACERO AL CARBONO A36 MEDIANTE EL PROCESO SMAW.

2.4.1.1 ACERO AL CARBONO ASTM A36

El acero ASTM A36 es un material que por sus características y propiedades se ha convertido en el más usado por la industria ecuatoriana; este material es el resultado de la composición de elementos químicos, siendo el más importante el hierro y el de menos presencia el carbón, el cual, no supera el 1,2% en peso de la composición, por lo general, alcanza porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%, lo que facilita el proceso de moldeo de este acero.

Las características de composición son las que clasifican a los materiales en función de los elementos que dominan en cantidad, en función de la facilidad de realizar algunos tratamientos térmicos y de su uso.

El acero es muy utilizado en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas; por la variedad que presenta y sobre todo por la disponibilidad en el mercado.

Una ventaja muy importante de este material es que tienen un comportamiento lineal y elástico hasta la fluencia, lo que hace que sea predecible en las estructuras, y por lo tanto el más usado en la industria. Al existir una gran variedad de aceros por las características de la composición y de las aleaciones, se ha impuesto ciertas Normas que los regulan, estas son impuestas por cada país, cada fabricante de acero, y también por los consumidores de este material.

2.4.1.2 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

Todos los materiales poseen propiedades y características inherentes que los diferencian entre sí, entre las principales propiedades se tienen: eléctricas, magnéticas, mecánicas, químicas físicas y térmicas. Las propiedades mecánicas son aquellas que tienen que ver con el comportamiento de un material bajo fuerzas aplicadas, estas dependen de la composición química y de la estructura cristalina que tenga, y se expresan en cantidades que están en función de los esfuerzos y/o las deformaciones.

A continuación se detalla la composición química del acero al que se hace referencia, en la tabla 2.1a se muestra los valores que se utiliza en el presente proyecto, datos que fueron facilitados por la empresa IPAC:

Tabla 2.1a Composición química del acero A36

Elemento	C	Cu	Fe	Mn	P	S
%	0,25	0,02	99	0,8 – 1,2	0,04 Máx	0,05 Máx

Fuente: Catálogo IPAC

En la siguiente tabla se recopiló los datos de las propiedades más importantes del acero ASTM A36, en la elaboración de este proyecto se hace referencia a estos valores:

Tabla 2.1b Datos de propiedades del acero ASTM A36

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Densidad	7,874	gr/cm ³
Límite de fluencia	32 – 36 (250 – 280)	Ksi (MPa)
Resistencia a la tensión	58 – 80 (400 – 550)	Ksi (MPa)
Módulo de elasticidad	29000 (200)	Ksi (GPa)
% de elongación mínimo	20 (8")	%
Punto de fusión	1536,5	°C

Fuente: Ciencia de materiales, Selección y Diseño”, de Pat L. Mangonon ^[1]

2.4.1.3 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.

Diagrama Fe-C

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

^[1]<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/301/6/T-ESPE-024825-2.pdf>.

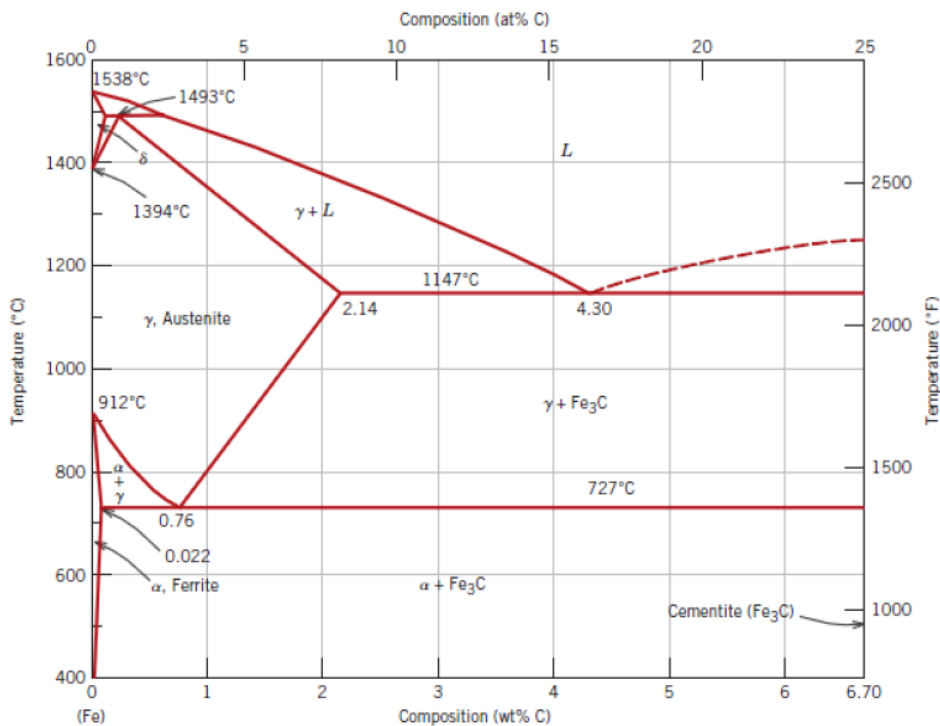


Figura 2.1 Diagrama de Fases Hierro – Carburo de Hierro. [Adaptado de Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. ASM International, Materials Park, OH.]

Fuente: CALLISTER, William. (2005). Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales. Editorial REVERTE.

Ferrita (α):

Con este nombre se designa la solución sólida α , la cual es una solución sólida intersticial formada por pequeñas cantidades de carbono disueltas en hierro α (red cúbica de cuerpo centrado). La solubilidad máxima se presenta a 722°C y es de 0.025% de C, admitiéndose que a temperatura ambiente el hierro llega a disolver solamente 0.008% de C. Esta estructura es la más blanda de todas la que aparecen en el diagrama. El valor medio de sus propiedades es: resistencia a la tracción 28 Kg/mm²; alargamiento 40% en 2 pulgadas; dureza inferior a la Rockwell C. ^[2]

Perlita:

Recibe este nombre la mezcla eutectoide compuesta por 0.8% de C, que se forma en el enfriamiento lento a 722°C. La mezcla está formada por una serie de láminas paralelas de muy pequeño espesor de ferrita y cementita, y su microestructura, que

^[2] SIDNEY, Avner. (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México. México D.F. Pág. 189

recuerda a una huella digital. Tiene una matriz blanca de ferrita, la cual constituye la mayor parte de la mezcla eutectoide, conteniendo láminas delgadas de cementita. Sus propiedades medias son; resistencia a la tracción 84 Kg/mm²; alargamiento 20% en 2 pulgadas; dureza aproximadamente 20 Rockwell C. ^[2]

Cementita (Fe₃ C):

El compuesto intermetálico Fe₃C; una sustancia dura y quebradiza. ^[3]

Martensita

Solución sólida intersticial sobresaturada de carbón en hierro tetragonal centrado en el cuerpo. ^[3]

Bainita

Mezcla de ferrita α y partículas muy pequeñas de Fe₃C producidas por la descomposición de la austenita; producto eutectoide no laminar producido por la descomposición de la austenita. ^[3]

2.4.1.4 RECUBRIMIENTOS DUROS

Un recubrimiento o recargue duro es la aplicación superficial por soldadura, spray térmico o un proceso similar de una o varias capas, cordones o puntos de un material generalmente duro, resistente a uno o varios tipos de desgaste, sobre un componente metálico.

Los recubrimientos duros se aplican con el objetivo de mejorar la resistencia al desgaste de una pieza o componente y para extender su vida de servicio. Son empleados principalmente en operaciones de reparación y reconstrucción para evitar así el costoso reemplazo de la pieza. También se vienen aplicando últimamente en piezas que se producen en serie.

^[2] SIDNEY, Avner. (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México. México D.F. Pág. 189

^[3] William Smith. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta Edición. Por Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. México. Pág. 535

Clasificación de los recubrimientos duros

Una clasificación presentada por Crook P. y H. Farmer, divide las aleaciones de recargues duros aplicadas por soldadura en cinco grandes familias: ^[4]

- Aleaciones de reconstrucción.
- Aleaciones para desgaste metal –metal.
- Aleaciones para desgaste metal–tierra.
- Carburos de Tungsteno.
- Aleaciones no ferrosas.

Propiedades y aplicaciones

En general, la abrasión es un proceso mediante el cual partículas duras o protuberancias son forzadas a moverse a lo largo de una superficie sólida y el desgaste abrasivo será entonces, el resultado de la acción del movimiento relativo de estas partículas y/o protuberancias con respecto a la superficie.

La abrasión es responsable por las pérdidas de masa por desgaste más acentuadas en sistemas productivos, y por consiguiente, es el fenómeno de desgaste que presenta mayor impacto dentro del gasto de las industrias.

Cerca de un 50% de los daños causados se atribuyen al desgaste abrasivo, convirtiéndose en un problema digno a ser tenido en cuenta.

Como posible solución a tal problema, existe la posibilidad de reconstruir las partes dañadas por medio recubrimientos duros (aleaciones) depositados por soldadura, como una forma económica y rápida para enfrentar y dar una mayor vida útil a los elementos de máquinas sometidos a desgaste abrasivo, ahorrando así considerable tiempo y dinero en recambios y maquinados ^[5]

^[4] Monsalve Gil Héctor Iván. (2006). Efecto del amperaje en las propiedades de recubrimientos duros resistentes a la abrasión aplicados por soldadura. (Ebrary, Biblioteca virtual UTA).

^[5] Lisys Margarita León Sevilla, Juan Carlos Gutierrez Pineda, Alejandro Toro. (2006). Relación microestructura resistencia al desgaste de recubrimientos duros ricos en cromo y tungsteno aplicados por soldadura electrica (SMAW). (Ebrary, Biblioteca virtual UTA).

Como el mecanismo de abrasión es el de mayor interés en la industria, lo describiremos en todas sus clases con el fin de diferenciarlas claramente.

2.4.1.5 TIPOS DE DESGASTE

La clasificación de los tipos de desgaste incluye factores mecánicos, térmicos y químicos:

Desgaste por abrasión:

Es una acción esmeriladora causada por sólidos abrasivos deslizantes que rozan y pulen una superficie:

- a) **Abrasión pura o de baja tensión:** Es el resultado de una acción de socavación provocada por pequeñas partículas, tales como arena, polvo o tierra. Una variación de este tipo de desgaste es la erosión, que ocurre cuando partículas arrastradas por un movimiento rápido de aire o líquido golpean el material. Un movimiento abrasivo produce virutas de metal. (Ver Figura 2.2 a).
- b) **Abrasión de alta tensión:** Es un desgaste que agrega una fuerza de compresión a la abrasión de baja tensión. (Ver Figura 2.2 b).
- c) **Abrasión por desgarramiento:** Este desgaste combina la abrasión de alta tensión con impacto, produciendo deformación de plástica dentro del metal base. (Ver Figura 2.2 c).

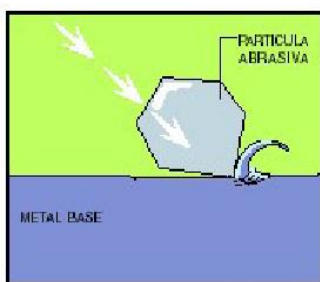


Figura 2.2 a

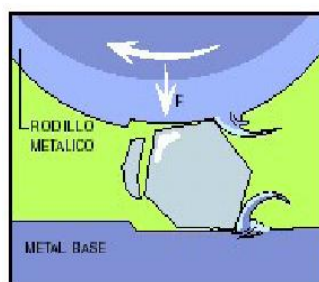


Figura 2.2 b

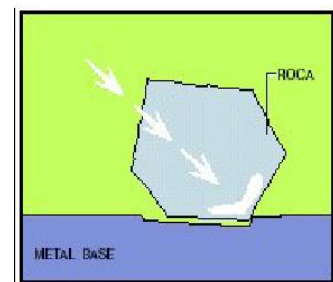


Figura 2.2 c

Figuras (2.2a, 2.2b, 2.2c) Desgaste por abrasión.

Fuente: http://soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=21:protecciontra-el-desgaste-hardfacing&catid=20:investigaci-desarrollo&Itemid=70

Desgaste metal-metal

Se produce cuando dos superficies se rozan entre sí, generando de este modo calor, lo cual hace que irregularidades superficiales se unan para formar una soldadura en frío. Entonces, pequeñas porciones de la superficie se desgarran, lo que causa daños de importancia. (Ver Figura 2.3).

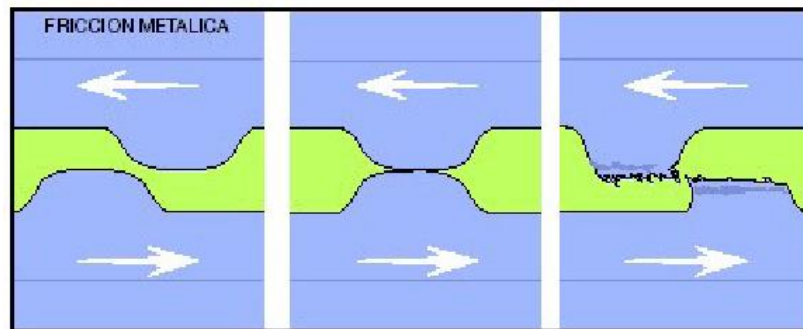


Figura 2.3 Desgaste metal-metal.

Fuente:http://soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=21:protecciontra-el-desgaste-hardfacing&catid=20:investigaci-desarrollo&Itemid=70

Desgaste por impacto:

Es el resultado de una tensión de compresión momentánea. Afecta más a los materiales frágiles, produciendo una fractura o deterioro gradual. (Ver Figura 2.4 a)

Desgaste por temperatura:

Influye sobre estructuras endurecidas por tratamiento térmico, reblandeciéndolas. Esto puede causar cambios de fase que incrementen la dureza y fragilidad, y puede acelerar el ataque químico, tal como la oxidación y exfoliación. (Ver Figura 2.4 b)

Desgaste por corrosión:

Es el deterioro de un metal como consecuencia de una reacción química o electroquímica con el medio. (Ver Figura 2.4 c)

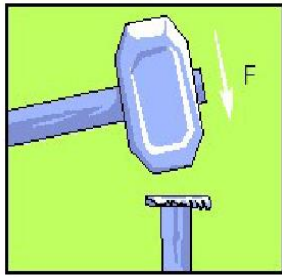


Figura 2.4 a

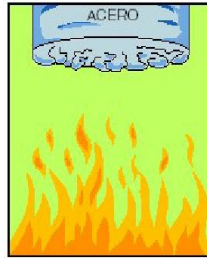


Figura 2.4 b

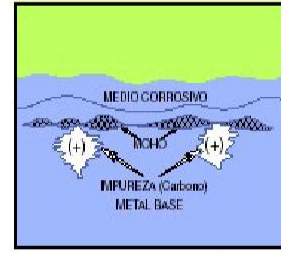


Figura 2.4 c

Figuras (2.4a, 2.4b, 2.4c) Desgaste por impacto, temperatura y corrosión.

Fuente: http://soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=21:protecciontra-el-desgaste-hardfacing&catid=20:investigaci-desarrollo&Itemid=70 ^[6]

2.4.2 PROCESOS DE FABRICACIÓN

La industria contemporánea basa sus procesos productivos con respecto a elementos metálicos, en cuatro pilares, desde los cuales se desenvuelve.

Estos son los siguientes:

- ✓ Procesos de Fundición
- ✓ Procesos de Soldadura
- ✓ Procesos de Maquinado con arranque de viruta
- ✓ Procesos de Deformación Plástica

Cada uno de ellos abarca un amplio campo de aplicación, desarrollo e innovación. De la misma manera también representan indistintamente un grado de complejidad en lo que a la adaptación y extensión de la tecnología constituyen sus procesos.

Debido a esta razón significa de vital importancia aplicar de una manera eficiente y técnica todo el adelanto científico-tecnológico que se logra alrededor del mundo y que gracias a las herramientas de comunicación presentes se logran conocer y aprovechar.^[7]

^[6] http://soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=21:protecciontra-el-desgaste-hardfacing&catid=20:investigaci-desarrollo&Itemid=70.

^[7] Tesis: Darwin Paul H y Hugo Limber Lozada. (2007). “Cálculo y análisis del régimen de soldadura para el proceso SMAW en acero al carbono y aleados y la implementación del software de aplicación”. Escuela de Formación Tecnológica. Escuela Politécnica Nacional. Pág. 19.

2.4.3 TALLER DE SOLDADURA:

2.4.3.1 SOLDADURA

Los procedimientos de soldadura por arco son los más utilizados, sobre todo para soldar acero, y requieren el uso de corriente eléctrica. Esta corriente se utiliza para crear un arco eléctrico entre uno o varios electrodos aplicados a la pieza, lo que genera el calor suficiente para fundir el metal y crear la unión. ^[8]

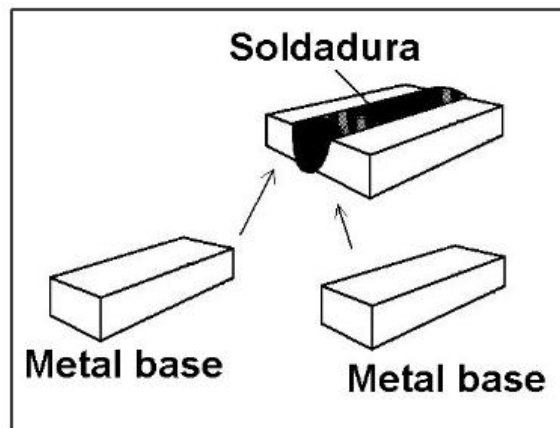


Figura 2.5 Soldadura por fusión.

Fuente: Ing. Silvia Infanzón. (2002). "La Calidad en la Soldadura" 3as Jornadas de Divulgación e Innovación Tecnológica, Talleres Don Bosco.

2.4.3.2 SOLDABILIDAD

La capacidad de un material para ser soldado, bajo las condiciones de fabricación impuestas, dentro de una estructura específica adecuadamente diseñada, y de tener un comportamiento satisfactorio en el servicio intentado. ^[9]

2.4.3.3 TIPOS DE JUNTAS

Es la unión de los miembros, o de sus extremos, que van a ser unidos o que han sido unidos. Existen 5 tipos básicos de juntas:

- Junta a Tope (Butt Joint).

^[8] Valdez Serrano, Diego. (2009). Fundición y Soldadura. (Ebrary, Biblioteca virtual UTA).

^[9] Norma AWS D1.1 en Español. (2002). código de soldaduras en estructuras de acero. Pág. 322

- Junta en Esquina (Corner Joint).
- Junta en “T” (T Joint).
- Junta de Traslape (Lap Joint).
- Junta de Borde u Orilla (Edge Joint).

Los términos para designar cada uno de estos tipos de junta están definidos en las normas correspondientes, a las que debe remitirse el lector interesado en su significado preciso, pero la Figura 2.6 muestra de manera gráfica las características de cada tipo.

Existen otros tipos de juntas, tales como las juntas abocinadas o de pestana (Flanged Joints) y juntas empalmadas a tope (Spliced Butt Joints), pero estas son formas variantes de los cinco tipos ya mencionados.

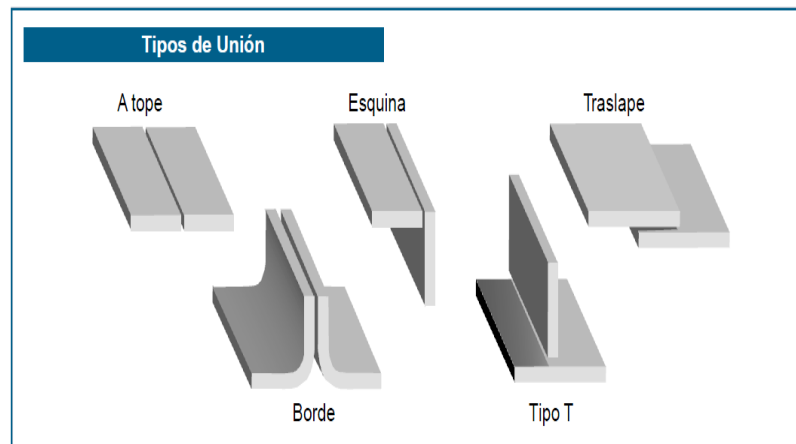


Figura 2.6 Tipo de juntas.
Fuente: Catálogo INDURA, Pág. 15

2.4.3.4 TIPOS DE SOLDADURA

Según la forma, la sección transversal del metal de soldadura y otras características, existen los siguientes tipos de soldadura:

- Soldadura de Ranura (Groove).
- Soldadura de Filete (Fillet).
- Soldadura de Pernos (Stud).
- Soldadura de Tapon (Plug).
- Soldadura de Boton (Slot).
- Soldadura de Puntos o Proyeccion (Spot or Projection).

- Soldadura de Respaldo (Back Weld).
- Soldadura de Costura (Seam).
- Soldadura de Recubrimiento (Surfacing).
- Soldadura de Borde o Reborde (Flange).

Por su parte, las soldaduras de ranura, dependiendo de la geometría de los bordes de los miembros de la junta, pueden ser de los siguientes tipos:

- ✓ Escuadra o Cuadrada (Square).
- ✓ Bisel (Bevel).
- ✓ En “V” (V Groove Weld).
- ✓ En “U” (U Groove Weld).
- ✓ Abocinado en Bisel (Flare Bevel Groove Weld).
- ✓ Abocinado en “V” (Flare “V” Groove Weld).

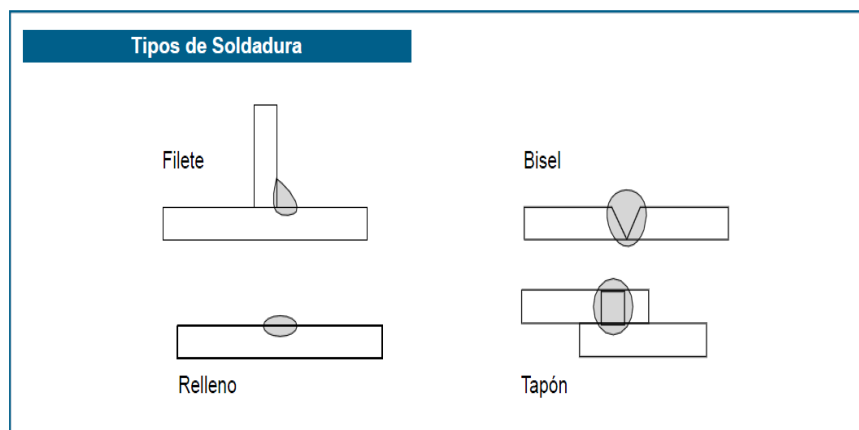


Figura 2.7a Tipos de soldaduras.
Fuente: Catálogo INDURA, Pág. 15

Adicionalmente, las soldaduras mencionadas pueden ser dobles o sencillas. La figura 2.7 b muestra, a manera de ejemplo, dos tipos de soldadura de ranura.

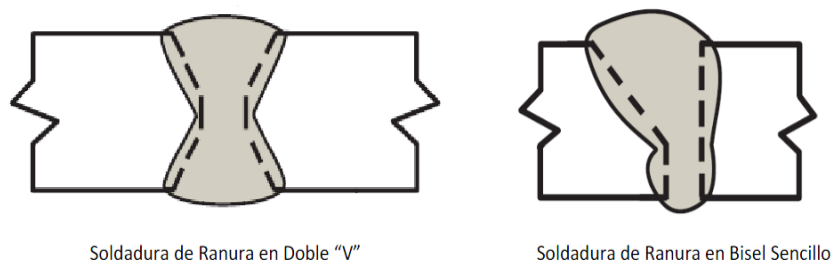


Figura 2.7b Tipos de soldaduras (doble V y Bisel sencillo).
Fuente: Carlos Oliva Minilo. (2007). “Curso Inspector de Soldadura AWS QC1:2007”. Instituto Chileno de Soldadura, Pág. 22.

2.4.3.5 PARTES DE LAS JUNTAS

Las partes o elementos de las juntas soldadas o a soldarse son relativamente numerosas, y a fin de poder interpretar y describir correctamente cualquier junta, es necesario identificar y ubicar cada una de sus partes. La figura 2.8a indica algunos de estos elementos en una junta aun sin soldarse.

1. Abertura de la Raíz.
2. Cara de la Raíz.
3. Cara de la Ranura.
4. Angulo del Bisel.
5. Angulo de la Ranura.
6. Tamaño de la Soldadura de Ranura Indicado en el Símbolo de Soldar.
7. Espesor de la Plancha.

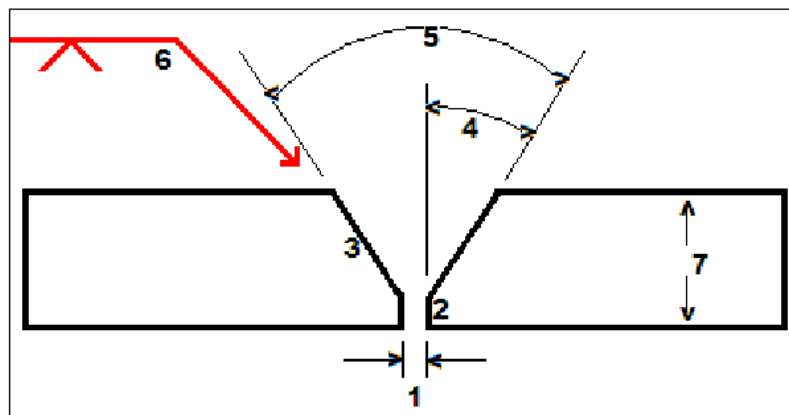


Figura 2.8a Partes de las Juntas a Tope

Fuente: Carlos Oliva Minilo, (2007), “Curso Inspector de Soldadura AWS QC1:2007”, Instituto Chileno de Soldadura, Pág. 23.

Las soldaduras ya terminadas involucran condiciones, partes y rasgos adicionales a aquellos presentes en las juntas antes de ser soldadas, y resulta indispensable conocer la nomenclatura para designar tales partes y rasgos a fin de describir e interpretar toda la información relativa a las juntas ya soldadas.

En las soldaduras de ranura, algunas de estas partes son el pie, la cara y el refuerzo de soldadura;

Las figuras 2.8b ilustran la ubicación, nombre y características de algunos componentes de las juntas soldadas, pero se hace énfasis en el sentido de que el lector debe remitirse a las normas referidas a fin de conocer con precisión el significado de los términos incluido en tales figuras. ^[10]

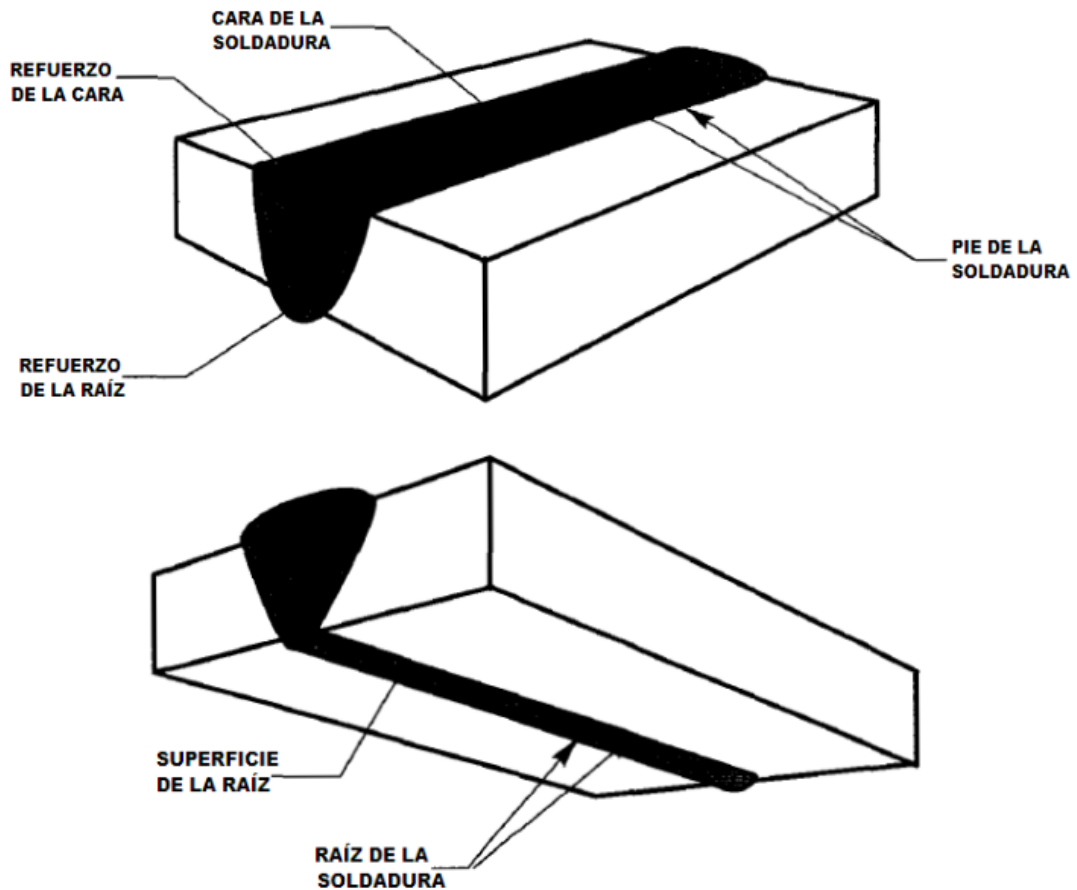


Figura 2.8b Componentes de juntas soldadas.

Fuente: Carlos Oliva Minilo. (2007). “Curso Inspector de Soldadura AWS QC1:2007” Instituto Chileno de Soldadura, Pág. 25.

2.4.3.6 POSICIONES DE LA SOLDADURA

Según la designación ANSI/AWS A3.0-8, las posiciones de soldaduras se presenta en la Figura 2.9.

^[10] Carlos Oliva Minilo. (2007). “Curso Inspector de Soldadura AWS QC1:2007”. Instituto Chileno de Soldadura. Pág. 20, 21, 22, 23 y 25.

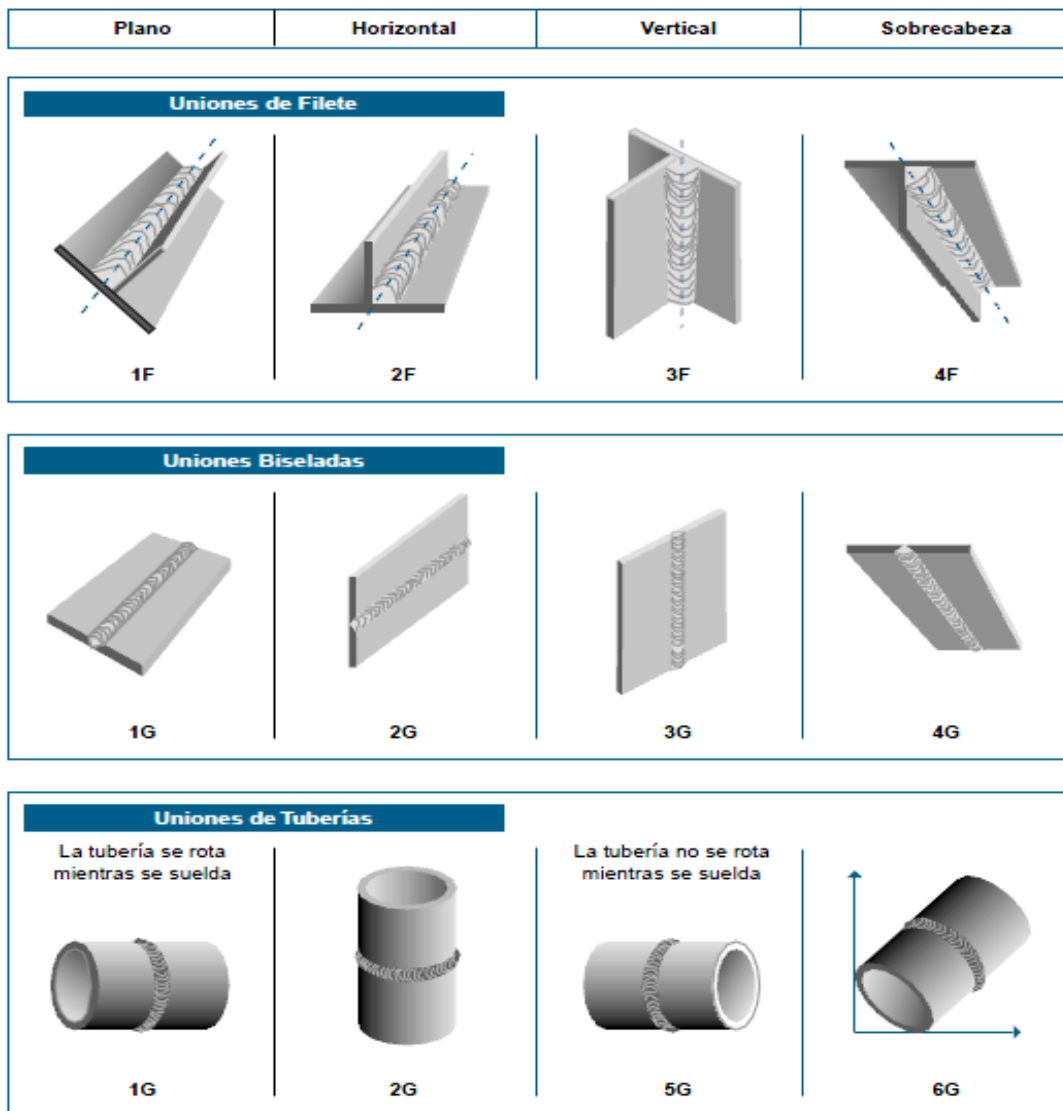


Figura 2.9 Posiciones de las soldaduras según ANSI/AWS A3.0-8
Fuente: Catálogo INDURA, Pág. 14

2.4.3.7 PROCESO DE SOLDADURA SMAW

El arco eléctrico es una corriente eléctrica que salta, a través del aire o de un gas, entre dos cuerpos conductores llamados electrodos.

Se establece al calentarse las moléculas de gas que rodean el electrodo negativo, haciendo que se liberen electrones cargados de electricidad negativa, que serán atraídos por el otro electrodo cargado positivamente.

Aplicando una tensión en determinadas condiciones, se puede originar una corriente electrónica que, debido especialmente a la ionización por choque,

cumple las condiciones necesarias para la ionización de la columna de gas existente entre los electrodos o entre el electrodo y la pieza de trabajo.

Ya que, según la teoría de los iones, las moléculas neutras de gas están sometidas a la descomposición de iones de gas.

De aquí que este gas ionizado constituya el verdadero camino por el que se efectúa la marcha o migración de la electricidad. En el interior de la columna gaseosa, los electrones (negativos) avanzan con enorme velocidad hacia el polo positivo.

Este extraordinario y rápido movimiento de los electrones o de los iones se debe a su elevada energía cinética.

Estas partículas aceleradas, al chocar con las moléculas neutras que contiene la corriente de gas, producen inmediatamente, como consecuencia, su descomposición en iones electropositivos y electronegativos, los cuales, por su parte, quedan igualmente a la disposición del transporte o a la migración de la electricidad.

La columna de gas adquiere en este momento una media luminosidad, y entra una intensa radiación que produce arco eléctrico o voltaico.

Los átomos cargados positivamente (cationes) son atraídos por el polo negativo (cátodo), que por el choque de los iones se calienta considerablemente. Este proceso de descomposición de los átomos en iones y electrones se denomina ionización.

El choque de los electrones con el polo positivo (ánodo) que ha tenido lugar en la distancia aérea con una velocidad muy elevada, se produce con extraordinaria violencia y la energía cinética se transforma en calor en el lugar del choque.

Los elementos de un arco eléctrico para soldadura con electrodo desnudo son: (1) el núcleo del arco, (2) la columna de vapor (arco propiamente dicho), (3) la llama y (4) el cráter o parte de la pieza fundida por el arco.

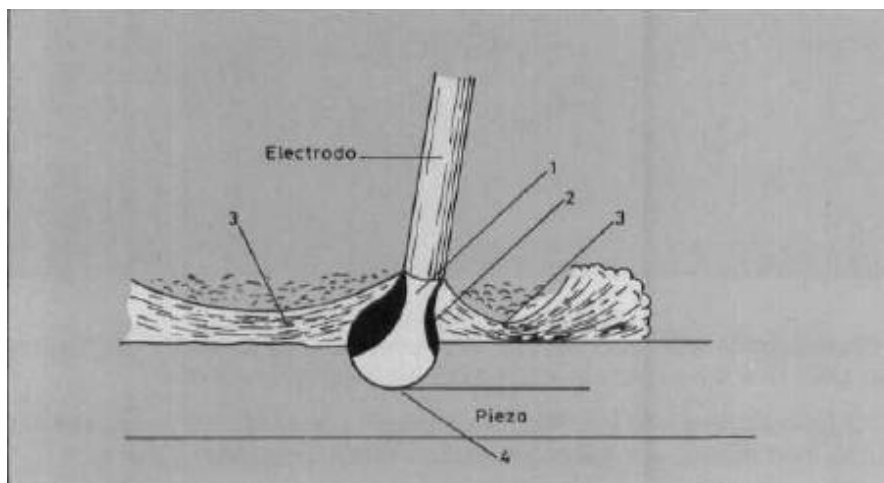


Figura 2.10 Elementos de un arco eléctrico.

Fuente: Morela Solá Pere. (2009). Soldadura industrial: procesos y aplicaciones. (Ebrary Biblioteca virtual UTA). Pág. 23.

El arco eléctrico, que puede considerarse como un conductor móvil, no siempre sigue el camino más corto entre el electrodo y la pieza de trabajo. sino que es desviado lateralmente con movimientos más o menos violentos, fenómeno éste que estorba mucho el proceso de soldadura y muchas veces lo hace imposible, atribuyéndose al llamado efecto de soplado magnético, que, además, es la causa del mal encendido de los electrodos incandescentes.

El electrodo es el elemento esencial en la soldadura eléctrica, sirve como conductor de la corriente y como metal de aportación. Puede ser desnudo o revestido.

Los electrodos desnudos son varillas de metal, de pequeño diámetro, muy poco empleados en soldadura normal por los inconvenientes que presentan, siendo los más destacados: dificultad en el encendido y mantenimiento del arco, cordón irregular de soldadura, imposibilidad de soldar en posiciones que no sean la horizontal, pérdida de elementos de aleación por oxidación y nitruración del acero base y malas cualidades mecánicas de la soldadura conseguida. ^[11]

^[11] Morela Solá Pere (2009). Soldadura industrial: procesos y aplicaciones. (Ebrary, Biblioteca virtual UTA).

2.4.3.8 ELECTRODOS PARA SOLDADURA DE ARCO

El material de aportación que se usa en el proceso de soldadura de arco se conoce como electrodo y consiste en una varilla metálica, generalmente de acero, recubierta de un revestimiento concéntrico.

Existe una amplia gama de electrodos para la calidad de acero, entre los cuales se pueden elegir lo que sean similares, dependiendo de la composición del metal depositado.

Se diferencian entre sí por el tipo de revestimiento, características y velocidad de soldeo y calidad del metal depositado.

Esto hace posible elegir el electrodo que brinde la soldadura más correcta, al costo más bajo en cada oportunidad. ^[12]

Clasificación de los electrodos según AWS

Las especificaciones más comunes para la clasificación de electrodos según la AWS son las siguientes:

Especificación para electrodos revestidos de acero al carbono, designación AWS: A5.1-91.

Especificación para electrodos revestidos de aceros de baja aleación, designación AWS: A5.5-96.

Especificación para electrodos revestidos de aceros al cromo, y cromo-níquel resistentes a la corrosión, designación AWS: A5.4-92. Y muchas más.

En la especificación para aceros al carbono de electrodos revestidos, el sistema de clasificación está basado en la resistencia a la tracción del depósito. La identificación de clasificación, está compuesta de la letra E y cuatro dígitos. (Ver Tabla 2.2a).

^[12] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/301/6/T-ESPE-024825-2.pdf>.

Tabla 2.2a Designación para electrodos según AWS.

EXXYZ	
Elemento	Significado
E	Electrodo para arco eléctrico
XX	Resistencia a la tensión en lb/in ²
Y	Posición de aplicación: <i>1 Cualquier posición</i> <i>2 Vertical</i> <i>3 Horizontal</i>
Z	Características de la corriente <i>0 CC invertida</i> <i>1 CC y CA sólo invertida</i> <i>2 CC (directa) y CA</i> <i>3 CC y CA (directa)</i>

Fuente: Tesis: Miguel Ángel P. Luis Miguel P. (2009). “Influencia de la utilización de insertos de varilla corrugada sobre las soldaduras de perfil estructural”. Escuela de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Pág. 52.

Esta letra significa “Electrodo” Los primeros dos dígitos indican la resistencia mínima a la tracción del metal depositado en miles de libras por pulgada cuadrada. Es así como E 60XX indica un electrodo revestido cuyo depósito posee como mínimo 60.000 lb/in². Esta es la resistencia mínima que debe cumplir el depósito.

Aunque los dos últimos dígitos señalan las características del electrodo, es necesario considerarlos separadamente ya que el tercer dígito indica la posición para soldar del electrodo y el cuarto el tipo de corriente a utilizar.

Las dos especificaciones para electrodos SMAW son AWS A5.1 y AWS A5.5. Una condensación de estas especificaciones está dada en la Tabla 2.2b.

Tabla 2.2b Especificación condensada para electrodos SMAW.

Electrodo		Grado	Resistencia a la tensión Ksi	Criterio para composición del metal de soldadura depositado	Criterio de prueba de impacto	
Tipo	Especif. AWS				Ensayo Charpy	Condición del metal soldado
Acero al carbono	A5.1	60	62	No estipulado	Requerido solamente para algunos grados	como fue soldado
		70	72	Estipulado		
Baja aleación	A5.5	70	70	Estipulado (todos los grados)	Requerido solamente para algunos grados	Algunos soldaduras, algunas esfuerzos aliviados
		80	80			
		90	90			
		100	100			
		110	110			
		120	120			

Fuente: Tesis: Miguel Ángel P. Luis Miguel P. (2009). “Influencia de la utilización de insertos de varilla corrugada sobre las soldaduras de perfil estructural”. Escuela de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Pág. 53. ^[13]

Clasificación AWS: E-7018

- Electrodo para acero al carbono
- Con hierro en polvo
- Toda posición.
- Corriente continua. Electrodo positivo
- Revestimiento: Gris.
- Aprobado anualmente por el Lloyd’s Register of Shipping, American Bureau of Shipping, Bureau Veritas, Germanischer Lloyd y Det Norske Veritas

Descripción:

El electrodo 7018 es de bajo contenido de hidrógeno y resistente a la humedad. Está especialmente diseñado para soldaduras que requieren severos controles radiográficos en toda posición. Su arco es suave y la pérdida por salpicadura es baja.

^[13] Tesis: Miguel Ángel P. Luis Miguel P. (2009). “Influencia de la utilización de insertos de varilla corrugada sobre las soldaduras de perfil estructural” Escuela de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Pág. 52 y 53.

Usos:

El 7018 es recomendado para trabajos donde se requiere alta calidad radiográfica, particularmente en calderas y cañerías. Sus buenas propiedades físicas son ideales para ser usado en Astilleros.

Aplicaciones típicas:

- Aceros Cor-Ten, Mayari-R
- Lukens 45 y 50
- Yolo y otros aceros estructurales de baja aleación

Procedimiento para soldar:

Para soldaduras de filetes horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, debe usarse un arco corto. No se recomienda la técnica de arrastre. En la soldadura en posición de sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en la dirección de avance. Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo. ^[14]

Tabla: 2.3 Características del electrodo E 7018.

Composición química (típica) del metal depositado:						
C 0,06%; Mn 1,00%; P 0,012%; S 0,015%; Si 0,48%						
Características típicas del metal depositado:						
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte (según norma AWS: A5.1-91):				Requerimientos según norma AWS: A5.1-91:		
Resistencia a la tracción : 73.000 lb/pulg ² (505 MPa)				70.000 lb/pulg ² (480 MPa)		
Límite de fluencia : 63.300 lb/pulg ² (437 MPa)				58.000 lb/pulg ² (390 MPa)		
Alargamiento en 50 mm. : 30%				22%		
Amperajes recomendados:						
Diámetro pulg.	Electrodo mm.	Longitud pulg.	Electrodo mm.	Amperaje		Electrodos x kg. aprox.
				min.	máx.	
3/32	2,4	12	300	70	120	65
1/8	3,2	14	350	120	150	32
5/32	4,0	14	350	140	200	19
3/16	4,8	14	350	200	275	14
1/4	6,4	18	450	275	400	7

Fuente: Catálogo INDURA/pdf.

^[14] Catálogo INDURA/pdf, Pág. 44.

Los electrodos antidesgaste se clasifican generalmente según la dureza del metal que depositan (Brinell, Rockwell o Vickers).

HB: Dureza Brinell.

HRc: Dureza Rockwell “C”

Tabla: 2.4a Características del depósito.

AGA	DUREZA	PARA PROTEGER CONTRA....
B0	200 HB - 400 HB	Impacto
B83	27 – 31 (HRc)	Impacto – Abrasión
B84	55 – 60 (HRc)	Abrasión – Impacto
B85	57 – 62 (HRc)	Alta abrasión

Fuente: Catálogo – Manual AGA / pdf

Resistencia a la abrasión



Resistencia al impacto




Aumento en resistencia a la abrasión



(Deposito endurecidos por deformación en frio)

Tabla: 2.4b. Gráfica comparativa de propiedades.

RECUBRIMIENTOS ANTI-IMPACTO	APLICACIONES TIPICAS	(-) LA LONGITUD DE LAS BARRAS(+) INDICAN RESISTENCIA RELATIVA
	B 80 Unión y recargue En aceros al Mn	

RECUBRIMIENTO ANTIABRASIVOS RECOMENDADOS PARA AMBIENTES DE...	B 83 Media abrasión Alto impacto Alta presión Deposito maquinable	
	B 84 Alta abrasión mediano impacto	
	B 85 Extrema abrasión bajo impacto	

Fuente: Catálogo – Manual AGA / pdf

A continuación se describen algunos electrodos AGA antidesgaste, características y sus usos:

B – 80

- Norma: AWS EFeMnA.
- Color de revestimiento: gris.
- Identificación: Punta verde.

Análisis del metal depositado (Valores típicos)			
C 1.2%	Mn 13.0%	Si 0.5%	Ni 3.0%

Características:

Electrodo básico que deposita un acero autentico al manganeso, el cual se endurece por deformación en frio, aplicable sobre aceros de igual composición y en piezas sometidas a severos impactos y mediana abrasión. Es ideal para

recuperación, recubrimiento y reparación de partes de aceros al Mn austenítico, partes y piezas de maquinaria pesada.

Propiedades Mecánicas:

Dureza 200 – 250 HB BRINELL al depósito, 300 – 400 HB Brinell después de endurecido por deformación en frío.

Posiciones a soldar:

Solamente soldadura de juntas planas y filete.

Corriente y polaridad:

Para corriente alterna o continua		
Ø mm.	Ø Pulg.	Amperaje
3.20	1/8	110-130
4.00	5/32	140-160
5.00	3/16	180-320

Aplicaciones:

- ✓ Para rellenar aceros al Manganeso.
- ✓ Reconstrucción de dientes y cucharas de excavadoras.
- ✓ Cruce y corazones de rieles.
- ✓ Molinos y martillos de minerales.
- ✓ Martillando su dureza aumenta a 350 – 400 HB.
- ✓ Cuando sea para reconstruir o recubrir, usar AGAR-91 como base.
- ✓ A temperaturas por encima de 300°C los aceros al Mn comienzan a perder tenacidad. Se recomienda cordones saltados, mínimo diámetro y amperaje posible.

B – 83

- Color de revestimiento: gris.
- Identificación: Punta amarilla.

Análisis del metal depositado (Valores típicos)			
C 0.1%	Mn 0.9%	Si 0.8%	Cr 3.2%

Características:

Electrodo de bajo contenido de hidrogeno para soldaduras de reconstrucción. Las soldaduras pueden ser maquinadas, (torneado, cepillado, fresado, etc.). Alta resistencia a la compresión. Buena resistencia a la abrasión moderada.

Propiedades Mecánicas:

Dureza 27 – 31 HRc

Posiciones a soldar:

Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente.

Corriente y polaridad:

Para corriente alterna o continua		
Ø mm.	Ø Pulg.	Amperaje
3.20	1/8	110-130
4.00	5/32	140-180
5.00	3/16	190-240

Aplicaciones:

- ✓ En rodillos de alimentación, poleas, zapatas de frenos.
- ✓ Para rellenar ruedas dentadas de tractores.
- ✓ Excelente como base para revestimientos duros en aceros al carbono.
- ✓ Muñones, ejes, y orugas de palas mecánicas.
- ✓ Cilindros de trituradoras.
- ✓ Rodillos de transportadores.

B – 84

- Color de revestimiento: gris.
- Identificación: Punta roja.

Análisis del metal depositado (Valores típicos)					
C 0.5%	Mn 0.3%	Si 0.7%	Cr 7%	Mo 0.5%	V 0.5%

Características:

AGAB – 84 es un electrodo para revestimiento duro sobre aceros aleados y aceros al carbono. Los cordones de superficie lisa y libre de grietas y poros depositan un material tenaz y resistente a la abrasión y mediano impacto. Fácil de soldar en todas las posiciones, excepto en vertical descendente.

Propiedades Mecánicas:

Dureza 55 – 60 HRc (dos capas).

Posiciones a soldar:

Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente.

Corriente y polaridad:

Para corriente alterna o continua		
Ø mm.	Ø Pulg.	Amperaje
3.20	1/8	100-130
4.00	5/32	120-160
5.00	3/16	180-220

Aplicaciones:

- ✓ Ideal para reacondicionar equipos de canteras, pilotajes, perforación.
- ✓ Rodillos de laminación.
- ✓ Prensas de forjar.
- ✓ Maquinaria para movimiento de tierra.
- ✓ Hojas de cizallas.

B – 85

- Color de revestimiento: plomo oscuro.
- Identificación: Punta azul.

Análisis del metal depositado (Valores típicos)		
C 4.0%	Si 0.6%	Cr 35%

Características:

El revestimiento de este electrodo tiene alto contenido de cromo, lo cual hace su depósito muy resistente al desgaste por extrema abrasión, severo rozamiento y bajo impacto, aun a temperaturas elevadas y en atmosferas corrosivas. No se le debe exponer a golpes o impactos severos.

Propiedades Mecánicas:

Dureza 57 – 62 HRc (dos capas).

Posiciones a soldar:

Solamente soldadura de juntas planas.

Corriente y polaridad:

Preferible corriente alterna en corriente continua,			
Ø Pulg.	1/8"	5/32"	3/16"
Amp. min.	120	170	220
Amp. máx.	140	190	250

Aplicaciones:

- ✓ Recubrir transportadores de tornillo.
- ✓ Baldes de excavadoras.
- ✓ Dientes de escarificadoras.
- ✓ Bombas de dragas.
- ✓ Maquinaria minera.
- ✓ Bombas de arena.^[15]

^[15] Catálogo – Manual AGA / pdf.

2.4.3.9 ZONAS METALÚRGICAS DE LA SOLDADURA

La zona compuesta

Es la región donde el metal de soldadura y el metal base se encuentran fundidos formando la zona de fusión. Así por ejemplo, cuando se realiza una soldadura en hierro fundido con electrodos de níquel, el poso de soldadura está compuesta por una mezcla líquida homogénea de níquel disuelto en el metal base de hierro gris. [16]

La zona no mezclada

Es una región muy estrecha que rodea la zona compuesta. Consiste de una capa de metal base fundido que se solidifica antes de experimentar ninguna mezcla en la zona compuesta. El espesor de esta región está usualmente en el rango de unas pocas decenas de micrones a 2.5 mm, dependiendo del proceso de soldadura y de la velocidad de enfriamiento. [16]

La intercara de la soldadura

En esta región se delinea claramente el límite entre el metal base no fundido y el metal de soldadura. Esta región puede observarse mediante ataque químico en soldaduras en las que el contenido de aleación y el rango de solidificación entre líquidos y sólidos son grandes. [16]

La zona parcialmente fundida

Se encuentra en el metal base. Es la región inmediatamente adyacente a la intercara de la soldadura en donde alguna fusión localizada puede ocurrir. [16]

La zona térmicamente afectada

La zona térmicamente afectada es la región de la soldadura que experimenta temperaturas pico suficientemente altas como para producir cambios microestructurales en estado sólido pero no tanto como para producir la fusión. [16]

El metal base no afectado

Es aquella región de la pieza soldada en la que no ha ocurrido ningún cambio de microestructura. Aunque en esta región no se producen cambios microestructurales, el ciclo térmico impuesto por la soldadura puede producir importantes tensiones residuales de contracción longitudinal y transversal. ^[16]

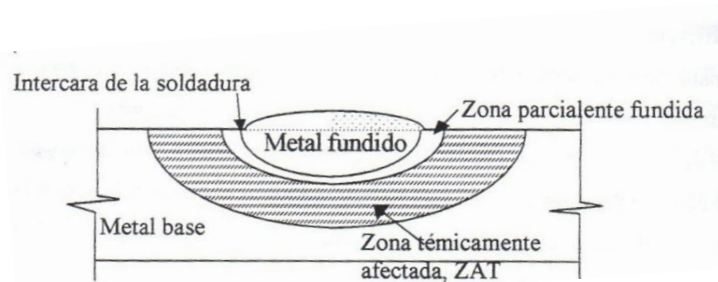


Figura 2.11 Zonas metalúrgicas producidas en una junta soldada.

Fuente: Pastor Mario. (2004). Introducción a la metalurgia de la soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Pág. 55.

2.4.3.10 TRASFORMACIONES DEL ACERO DURANTE LA SOLDADURA

Las regiones de las zonas afectadas térmicamente, en los aceros que se endurecen por transformaciones de fase durante la soldadura, así como su relación con las temperaturas picos alcanzadas y el diagrama Fe-C se muestra en la figura 2.12.

La región 1 de la ZAT de la figura anterior es la más próxima a la línea de fusión y contiene grano grueso que creció rápidamente debido al calentamiento a temperaturas cercanas a la de fusión; el tamaño de grano grueso aumenta la templabilidad, de esta región puede transformarse rápidamente en martensita durante el enfriamiento.

La región 2 también se austenitiza, pero la temperatura que alcanza es demasiado baja para producir crecimiento de grano, por lo que su templabilidad no se incrementa significativamente, pero aún puede transformarse en martensita si la

^[16] Pastor Mario. (2004). Introducción a la metalurgia de la soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

velocidad del enfriamiento es suficientemente rápida o si el contenido de aleación es suficientemente alto.

En la región 3, algunos granos se transforman en austenita y otros no, y el tamaño de grano es muy fino.

En la región 4 no ocurre transformación austenítica, pero los granos de ferrita se ven sometidos a un efecto de revenido por el calor de soldadura. [10]

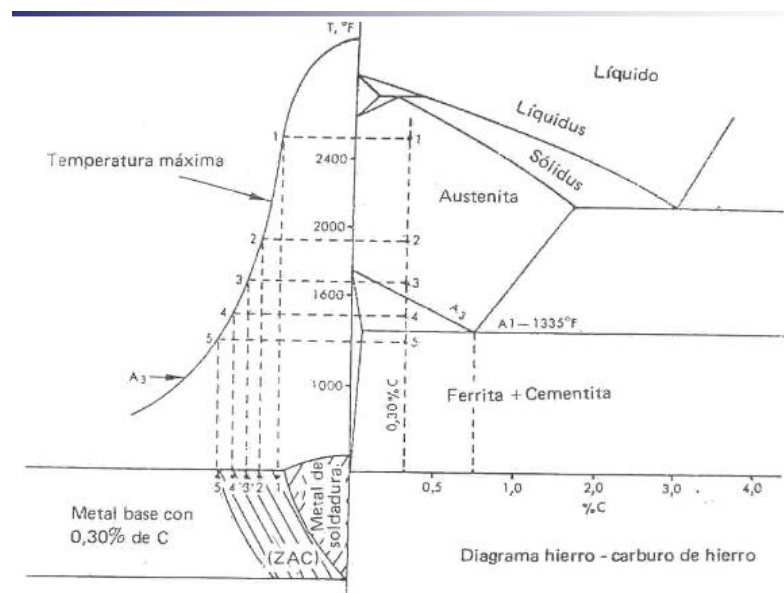


Figura 2.12 Relación aproximada de las temperaturas picos en las juntas soldadas y el diagrama Fe-C

Fuente: Carlos Oliva Minilo. (2007). “Curso Inspector de Soldadura AWS QC1:2007”. Instituto Chileno de Soldadura. Pág. 89.

2.4.4 INGENIERÍA DE MATERIALES

La ciencia de los materiales es un campo interdisciplinario que se ocupa de inventar nuevo materiales y mejorar los ya conocidos, mediante el desarrollo de un conocimiento más profundo de las relaciones entre microestructura, composición, síntesis y procesamiento.

[10] Carlos Oliva Minilo. (2007). “Curso Inspector de Soldadura AWS QC1:2007”. Instituto Chileno de Soldadura.

El termino composición indica la constitución química de un material. El termino estructura significa una descripción del arreglo atómico, visto con distintos grados de detalle. Los científicos e ingenieros en materiales no solo tiene que ver con el desarrollo de los materiales, sino también con la síntesis y el procesamiento de materiales y con los procesos de fabricación correspondientes a la producción de componentes. El termino síntesis indica la manera de fabricar los materiales a partir de elementos naturales o hechos por el hombre. El termino procesamiento indica el modo en que se conforman los materiales en componentes útiles y para causar cambios en las propiedades de distintos materiales.

En la ciencia de los materiales se subrayan las relaciones subyacentes entre síntesis y el procesamiento, la estructura y las propiedades de los materiales. En la ingeniería de materiales el enfoque es hacia como convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles.

Uno de los aspectos más fascinantes de la ciencia de materiales es la investigación de la estructura de un material ^[17]

2.4.5 ENSAYOS Y PROPIEDADES MECÁNICAS

Se selecciona un material al adecuar sus propiedades mecánicas a las condiciones de servicio requeridas para el componente. El primer paso en el proceso de selección requiere que se analice la aplicación, a fin de determinar las características más importantes que el material debe poseer.

Una vez, conocidas las propiedades requeridas, se puede seleccionar el material apropiado utilizando la información incluida en los manuales, se debe sin embargo conocer cómo se llega a las propiedades incluidas en los manuales, lo que dichas propiedades significan y tomar en cuenta que las propiedades listadas se han obtenido a partir de ensayos y pruebas ideales que pudieran no ser exactamente aplicables a casos o aplicaciones ingenieriles de la vida real.

^[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. Pág. 6

2.4.5.1 ENSAYO DE TENSIÓN

El ensayo de tensión está muy difundido, porque las propiedades que se obtienen pueden aplicarse en el diseño de distintos componentes. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión suelen ser muy pequeñas (é 10^{-4} a 10^{-2} s^{-1}), En la figura 2.13, se muestra un arreglo del ensayo; un espécimen o probeta estándar (0.505 pulg de diámetro y longitud calibrada de 2 pulg) se coloca en la máquina de prueba y se aplica una fuerza F , llamada carga.

En la figura 2.13, se muestra una máquina universal de pruebas, en la que se pueden ejecutar tensión y compresión. Para medir la cantidad que se estira el espécimen entre las marcas de calibración cuando se aplica la carga, se usa un extensómetro o galga extensométrica. Así lo que se mide es el cambio de longitud del espécimen. Δl , en una longitud determinada l_0 . En ese ensayo de tensión se puede obtener información acerca de la resistencia, el módulo de Young y la ductilidad de un material. [17]



Figura 2.13 Máquina Universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn).

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis.

Diagrama Esfuerzo-Deformación

Al concluir la prueba durante el ensayo, los resultados se llevan a un diagrama *esfuerzo-deformación*. En la (Fig. 2.14) se muestra el diagrama esfuerzo deformación obtenido a partir del ensayo normal a la tensión de un material dúctil. La P indica el límite proporcional, E El límite elástico, Y la resistencia a la

[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México.

cedencia, o en el límite elástico aparente definida por la distancia OA , U última resistencia, y F esfuerzo de fractura. [18]

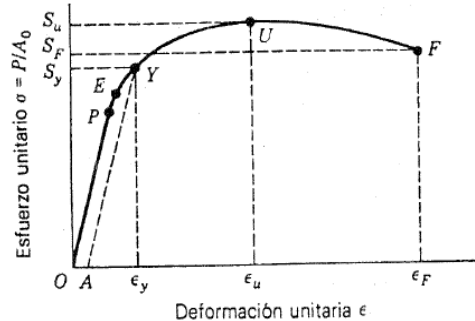


Figura 2.14 Diagrama Esfuerzo-Deformación

Fuente: Joseph Edward Shigley. (1985). Diseño en Ingeniería Mecánica. Tercera Edición en Español. Libros Mc Graw-Hill de México S.A. Pág. 177

Ejemplos de la forma geométrica de probetas utilizadas usualmente en ensayos de tracción.

- a) Probeta redonda estándar para tracción de 2 pulg de longitud de ensayo.
- b) Probeta rectangular estándar para tracción de 2 pulg de longitud de ensayo.

[3]

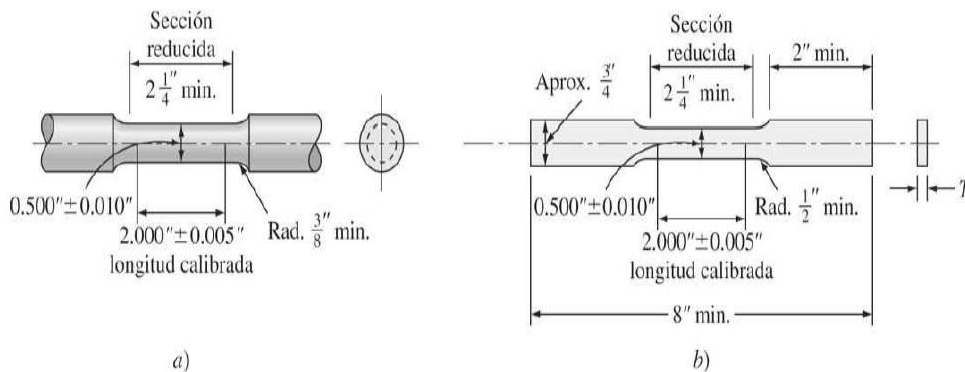


Figura 2.15. Probetas para ensayo a tracción según ASTM.

Fuente: William Smith. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta Edición. Por Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. México. Pág. 219.

[18] Joseph Edward Shigley. (1985). Diseño en Ingeniería Mecánica. Tercera Edición en Español. Libros Mc Graw-Hill de México S.A. Pág. 177.

[3] William Smith. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta Edición. Por Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. México. Pág. 219.

2.4.5.2 VALORES DE PROPIEDADES MECÁNICAS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN Y DEL DIAGRAMA TENSIÓN-DEFORMACIÓN CONVENCIONAL

Las propiedades mecánicas de metales y aleaciones que tienen interés para el diseño estructural en ingeniería, y que pueden obtenerse a partir del ensayo de tracción técnico, son:

1. Módulo de elasticidad
2. Límite elástico convencional de 0.2 por ciento
3. Resistencia a la tracción
4. Porcentaje de alargamiento a fractura
5. Porcentaje de estricción a fractura

El módulo de elasticidad, o *módulo de Young* (E):

En la primera parte del ensayo de tracción, el metal se deforma elásticamente. Es decir, si la fuerza que actúa sobre la muestra desaparece, la probeta volverá a su longitud inicial. Para metales, la máxima deformación elástica suele ser inferior a 0.5 por ciento. En general, los metales y aleaciones muestran una relación lineal entre la tensión aplicada y la deformación producida en la región elástica del diagrama convencional que se describe por la ley de Hooke. ^[3]

$$\sigma(\text{tensión}) = E\varepsilon(\text{deformación})$$

Ó

$$E = \frac{\sigma(\text{tensión})}{\varepsilon(\text{deformación})}$$

Ecuación para el módulo de Young ajustado por el método de los mínimos cuadrados:

^[3] William Smith. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta Edición. Por Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. México. Pág. 220 y 221.

$$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)$$

Dónde:

$Y =$ Esfuerzo axial aplicado.

$X =$ Deformación correspondiente.

El término de la carga P_i , y el área de la sección transversal original medida A_o , y de la longitud de calibración L_o .

$$X = \frac{\Delta c}{L_o}$$

$$Y = \frac{\Delta p}{L_o}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{K} = \text{Promedio de valores de } Y.$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{K} = \text{Promedio de valores de } X.$$

$K =$ Número de datos pares X, Y , y sumatoria original ($\Sigma =$) desde 1 a K .

[19]

Límite elástico

El **límite elástico** es un valor muy importante para el diseño estructural en ingeniería, pues es el nivel de tensión al que un metal o aleación muestran una deformación plástica significativa.

Debido a que no hay un punto definido de la curva tensión-deformación donde acaba la deformación elástica y empieza la deformación plástica, se determina el límite elástico como la tensión a la que se produce una deformación elástica definida. En muchas ocasiones se determina el límite cuando se produce una

[19] Norma ASTM E-111. (1975). Cálculo del Módulo de Elasticidad. Pág. 5.

deformación de 0.2 por ciento, como se muestra en el diagrama convencional de la figura 2.16a. ^[3]

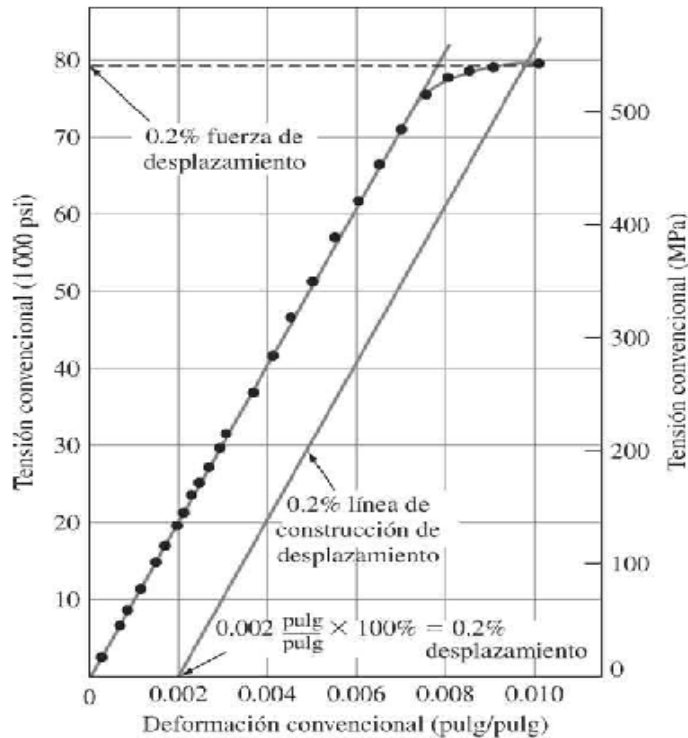


Figura 2.16a Límite elástico al 0,2 %

Fuente: William Smith. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta Edición. Por Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. México. Pág. 219.

Resistencia a la Tensión

Después de iniciarse la deformación plástica, la tensión necesaria para continuar la deformación en los metales aumenta hasta un máximo, punto *M* y después disminuye hasta que finalmente se produce la fractura, punto *F*.

La **resistencia a la tracción** *TS* (MPa o psi) es la tensión en el máximo del diagrama tensión-deformación nominales (Figura 2,16b). Esto corresponde a la máxima que puede ser soportada por una estructura a tracción; si esta tensión es aplicada y mantenida, se producirá la rotura.

^[3] William Smith. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta Edición. Por Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. México.

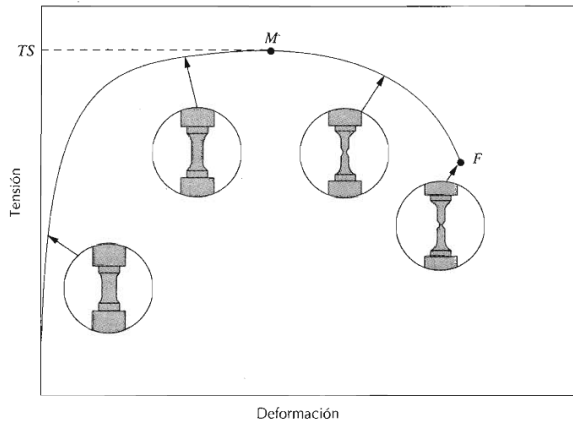


Figura 2.16b Curva típica de tracción hasta la fractura.

Fuente: William D. Callister, Jr. (2005). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial Reverte S.A. México. Pág. 127.

Ductilidad

La ductilidad es otra importante propiedad mecánica. Es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil. El diagrama tensión-deformación para materiales dúctiles y para materiales frágiles se ilustra esquemáticamente en la fig. 2.16c. La ductilidad puede expresarse cuantitativamente como alargamiento relativo porcentual, o bien mediante el porcentaje de reducción de área. El alargamiento relativo porcentual a rotura, %EL, es el porcentaje de deformación plástica a rotura, o bien

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) * 100 \text{ [20]}$$

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).

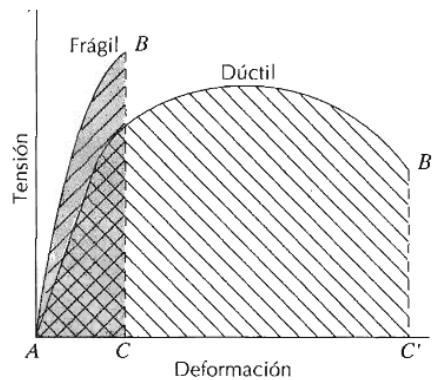


Figura 2.16c Representación esquemática de los diagramas de tracción de materiales frágiles, y dúctiles ensayados hasta la fractura.

Fuente: William D. Callister, Jr. (2005). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial Reverte S.A. México. Pág. 129

Porcentaje de reducción de área (AR)

$$\%AR = \left(\frac{A_o - A_f}{A_o} \right) * 100 \text{ [20]}$$

Donde A_o 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 y A_o . Además, para un determinado material los valores de %EL y %AR son en general diferentes. [20]

2.4.5.3 ENSAYO DE DUREZA

La **dureza** es una medida de la resistencia de un metal a la deformación permanente (plástica). La dureza de un metal se mide forzando la indentación de un penetrador en la superficie del metal. El penetrador, que normalmente es una bola, pirámide o cono, está fabricado con un material mucho más duro que el material a ensayar. Por ejemplo, el material empleado en estos penetradores suele ser acero templado, carburo de tungsteno o diamante. En la mayoría de los ensayos de dureza normalizados se aplica lentamente una carga conocida, que

[20] William D. Callister, Jr. (2005). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial Reverte S.A. México.

presiona el penetrador contra la superficie del metal a ensayar y perpendicularmente a ésta.

Después de producir la indentación, se retira el penetrador.

Se calcula o se lee en un dial un número empírico de dureza basado en el área del corte transversal de la huella producida o en su profundidad. ^[3]



Figura 2.17. Durómetro FICM.

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis.

Dureza Brinell

El ensayo de dureza brinell consiste en presionar la superficie del material a ensayar con una bolilla de acero muy duro o carburo de tungsteno, produciéndose la impresión de un casquete esférico correspondiente a la porción de la esfera que penetra Fig. 2.18a.

El valor de dureza, número de Brinell H_B , resulta de dividir la carga aplicada P por la superficie del casquete, por lo que:

$$H_B = \frac{P}{\pi D h} \left[\frac{Kg}{mm^2} \right] \quad [21]$$

La profundidad h del casquete impreso se mide directamente en la máquina, mientras la carga se mantiene aplicada de modo de asegurar un buen contacto entre la bolilla y el material.

^[3] William Smith. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta Edición. Por Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. México.

Otra manera de determinar el número *HB* es partiendo del diámetro *d* de la impresión lo cual tiene la ventaja de que se pueden efectuar tantas mediciones como se estimen necesarias y en microscopios o aparatos especialmente diseñados para tal fin. En este caso el valor del diámetro de la impresión resultará del promedio de dos lecturas realizadas a 90° entre sí. Para el número de Brinell en función del diámetro de la huella:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [21]$$

En la práctica el número de Brinell se puede tomar directamente de una tabla ingresando con el valor del diámetro de la huella.

En algunos materiales la penetración de la bolilla origina una craterización Fig. 2.18b y en otros una depresión Fig 2.18c. En estos casos los valores obtenidos a partir de la medición de *h* no coinciden con los obtenidos en función de *d*, ya que la profundidad *h* medida no corresponde al casquete cuyo diámetro es *d*, sino al de diámetro *d1*, cuya determinación exacta en forma práctica es dificultosa.

Por todo esto se ha generalizado la determinación de *HB* a partir de *d*, ya que ofrece mayor seguridad de una determinación correcta. Ya sea en la determinación de *h* o en la de *d*, se requiere una precisión mínima de 0,01mm.

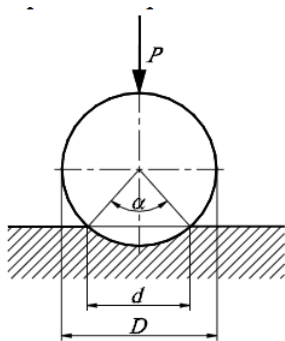


Fig.: 2.18a Esquema básico de un ensayo de dureza Brinell

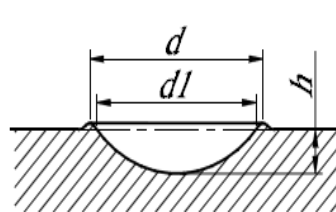


Fig.: 2.18b Craterización en la indentación.

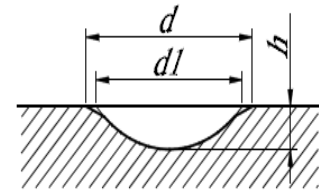


Fig.: 2.18c Depresión en la indentación

Figura 2.18 (a, b y c) Pasos dureza Brinell.

Fuente: <http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>.

Penetradores

Como penetrador normal del método Brinell puede considerarse la bolilla de 10 mm de acero muy duro $HB = 630$ pudiendo emplearse, en probetas de menor espesor, penetradores de 5 y 2,5 mm, aceptándose en cualquier caso una tolerancia de $\pm 0,005D$.

También se emplean penetradores de 1,25 y 0,625 mm de carburo de tungsteno que permiten ensayar materiales más duros, aunque los ensayos no son comparables con los realizados con los otros tipos de bolillas.

Existen diversos criterios para determinar la bolilla a utilizar en un ensayo. Las normas

IRAM especifican que en ningún caso se ensayarán probetas cuyo espesor e sea menor que el diámetro del penetrador D , mientras que las ASTM indican que e no debe ser menor de 10 veces la profundidad de penetración.

La norma ASTM especifica la dureza mínima requerida para satisfacer la condición $e < 10h$ para un espesor de probeta determinado y distintas condiciones de carga, como se muestra en la tabla 2.5a.

Tabla 2.5a Relaciones entre dureza, espesor de la probeta y carga a aplicar.

Espesor de la probeta e [pulgadas]	Dureza Brinell mínima para la cual un ensayo Brinell puede ofrecer seguridad		
	Carga de 500 kg	Carga de 1500 kg	Carga de 3000 kg
1/16	100	301	602
1/8	50	150	301
3/16	33	100	201
¼	25	75	150
5/16	20	60	120
3/8	17	50	100

Fuente: <http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>

En la tabla 2.5b se expresa un criterio algo más práctico que permite seleccionar el diámetro de la bolilla en función del espesor de la probeta.

Tabla 2.5b Criterio para seleccionar el diámetro del penetrador.

Espesor de la probeta e [mm]	$e > 6$	$3 < e < 6$	$e < 3$
Diámetro de la bolilla D [mm]	10	5	2,5

Fuente: <http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>

Correlación del valor de dureza con la resistencia a la tracción

En algunos casos es posible correlacionar el valor de dureza del material con el valor de resistencia estática del material. Así por ejemplo para aceros ordinarios recocidos y con menos de 0,8% de carbono se tiene

$$\sigma_{ET} = 0,346 HB \left[\frac{Kg}{mm^2} \right] \quad [21]$$

Para aceros al cromo-níquel y algunas aleaciones de aluminio se adoptan valores entre 0,34 y 0,35; para fundición gris 0,1HB.

Es importante notar que la estimación del valor de resistencia a la tracción a través de la ecuación debe ser considerada como una primera aproximación y no debe ser tomado como un valor confiable si no se conoce de antemano y empíricamente que dicha relación se cumple para el material y las partes ensayadas.

Cualquier irregularidad superficial, tal como endurecimiento localizado por deformación, tratamiento superficial, etc. Puede causar una estimación errónea de la resistencia a la tracción.

Dureza Rockwell

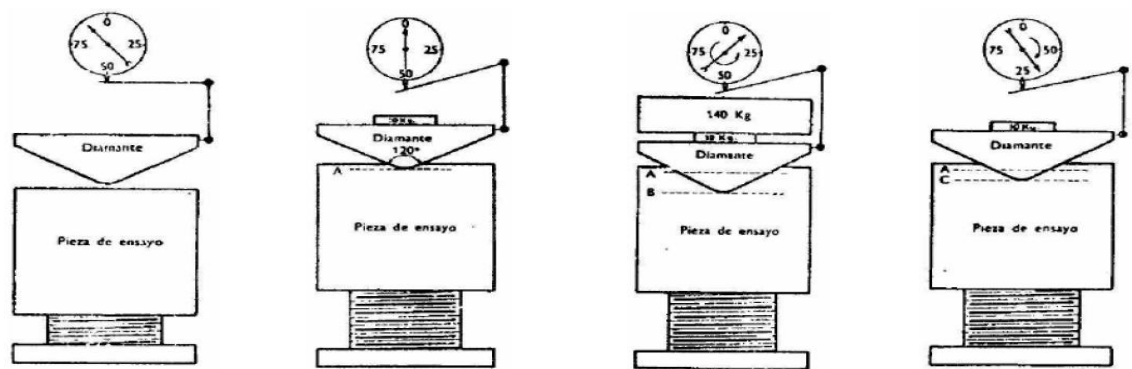
Al igual que en el ensayo Brinell la dureza se determina en función del grado de penetración de la pieza a ensayar a causa de la acción del penetrador bajo una carga estática dada.

Difiere del ensayo Brinell en que las cargas son menores y los penetradores más pequeños por lo que la impronta será menor y menos profunda.

Además el ensayo Rockwell no requiere la utilización de formula alguna para la determinación de la dureza. Esta se obtiene directamente del dial indicador de la máquina ya que la misma está dada por el incremento de profundidad de penetración debido a la acción del penetrador, el cual puede ser una bolilla de acero o un cono de diamante.

En la operación, la cual se muestra esquemáticamente en la Fig. 2.19, se aplica inicialmente una carga de 10 kg la cual causa una penetración inicial *A* que pone el penetrador sobre el material y lo mantiene en posición.

El indicador de la máquina se pone en cero, es decir se toma la línea de referencia a partir de la cual se medirá la indentación y se aplica la carga adicional, la que generalmente es de 50 o 90 kg cuando se utiliza como penetrador una bolilla de acero y es de 140 kg cuando se utiliza el cono de diamante.



1º) Se coloca la pieza sobre la máquina

2º) Se eleva la pieza hasta aplicar la carga de 10 kg (dial en cero)

3º) Se aplica la carga adicional, en este caso 140 kg

4º) se vuelve atrás la palanca para retirar la carga adicional y se lee el valor de dureza

Figura 2.19 Secuencia de ensayo de dureza Rockwell.

Fuente: <http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>

Al aplicar la carga adicional el material fluye plásticamente, resultando una penetración total *B*. Posteriormente, se retira la carga adicional, permitiendo la

recuperación elástica del material resultando una penetración final C . Una vez que la carga principal se retira, el valor de dureza se lee directamente del indicador de la máquina y dependerá de la penetración h dada por la diferencia entre la línea de referencia A y la línea final C . ^[21]

2.4.5.4 ENSAYO POR FRACTURA O IMPACTO

Antes de que la mecánica de la fractura se desarrollara como disciplina científica, las técnicas de ensayo de impacto estaban bien establecidas para caracterizar la fractura de los materiales.

Se había llegado a la conclusión de que los resultados de ensayos de tracción de laboratorio no podían extrapolarse para predecir el comportamiento a la fractura; por ejemplo, en algunas circunstancias, metales normalmente dúctiles se fracturan frágilmente sin apenas de formación plástica.

Las condiciones del ensayo de impacto son elegidas porque son las más severas con respecto a la fractura, a saber, (1) deformación a temperaturas relativamente bajas, (2) velocidad de deformación elevada y (3) estado triaxial de tensiones (el cual puede ser introducido por la presencia de una entalla).

Técnicas de ensayo de impacto

Dos ensayos normalizados, los ensayos de **Charpy** e **Izod**, fueron diseñados y todavía son utilizados para medir la **energía de impacto**, algunas veces también llamada tenacidad a la entalla. La técnica de Charpy con entalla en forma de V (CVN) es la más común en los Estados Unidos.

En ambas técnicas, la probeta tiene forma de barra de sección cuadrada, en la cual se mecaniza una entalla en forma de V (Figura 2.20a). La carga es aplicada en forma de un golpe con un martillo en forma de péndulo que se deja caer desde una posición fija preestablecida a una altura h . La probeta se coloca en la base tal como se muestra. Al dejar caer el péndulo, el borde de una cuchilla montada en el péndulo golpea y fractura la probeta a lo largo de la entalla, la cual actúa como un

^[21] <http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>

punto de concentración de tensiones para esta alta velocidad de impacto. El péndulo continúa su oscilación, llegando hasta una altura máxima h' , la cual es menor que h . La pérdida de energía, calculada a partir de la diferencia entre h y h' , es una medida de la energía absorbida en el impacto.

La diferencia fundamental entre las técnicas de Charpy e Izod reside en la manera en que se coloca la probeta, tal como se ilustra en la Figura 2.20b. Además, estos ensayos se denominan de impacto en vista de la manera en que se aplica la carga. Las variables tales como el tamaño y la forma de la probeta así como la configuración y profundidad de la entalla influyen en los resultados de los ensayos

La tenacidad de fractura en deformaciones planas y los resultados de los ensayos de impacto determinan las propiedades de fractura de los materiales. La primera es de naturaleza cuantitativa en el sentido de que se determina una propiedad específica del material (o sea, K_{Ic}).

Los resultados de los ensayos de impacto, por el contrario, son más cualitativos y son de poca utilidad para el diseño.

Las energías de impacto son de interés principalmente en un sentido relativo y con fines comparativos, los valores absolutos tienen poco significado.

Se han realizado intentos de correlacionar la tenacidad de fractura en deformaciones planas y las energías CVN, con éxito limitado.

Los ensayos de tenacidad de fractura en deformaciones planas no son tan simples de realizar como los ensayos de impacto; además, los equipos y las probetas son mucho más caros. ^[20]

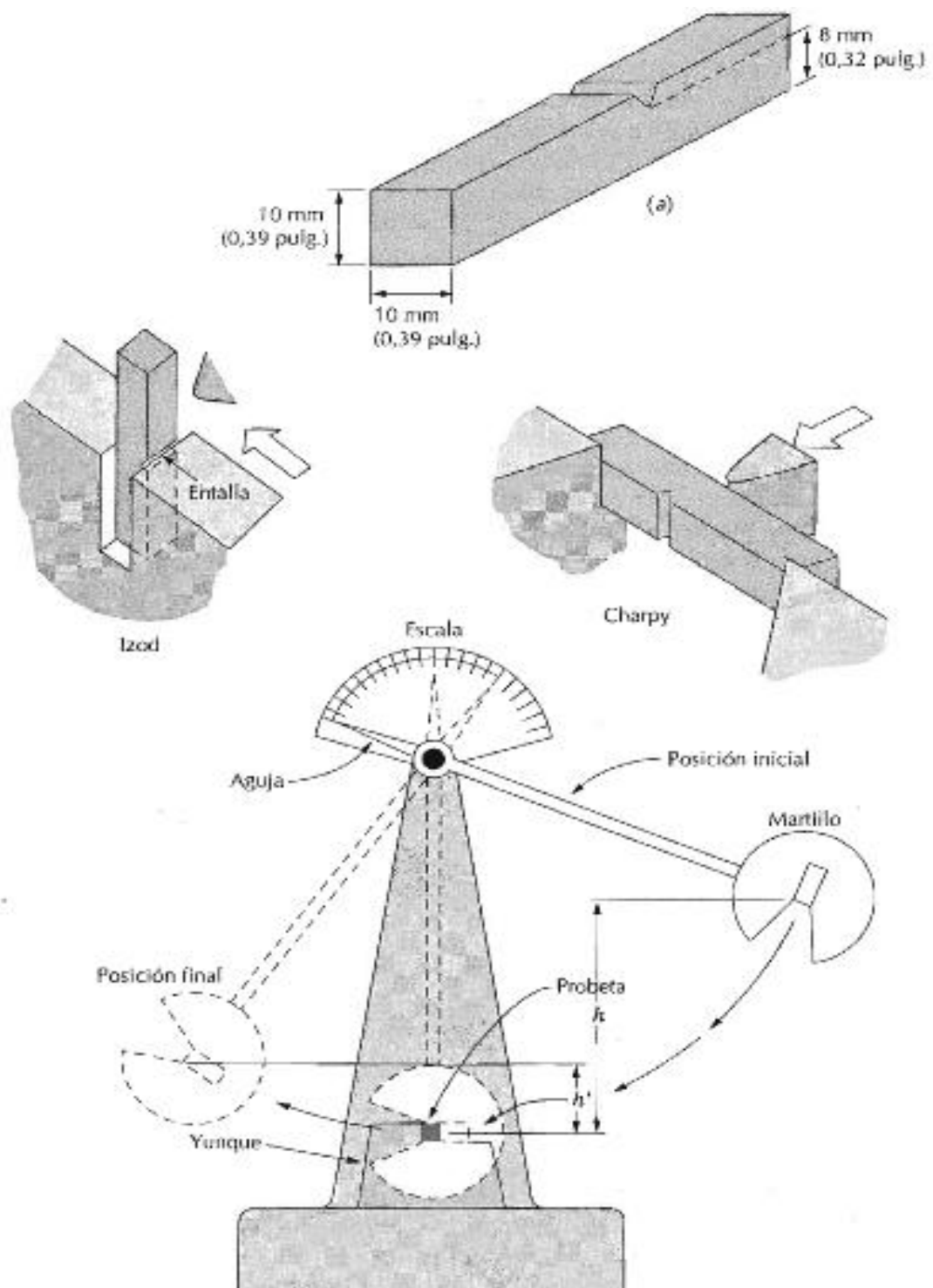


Figura 2.20 Esquema y probetas del ensayo Charpy e Izod.

Fuente: William D. Callister, Jr. (2005). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial Reverte S.A. México. Pág. 211

^[20] William D. Callister, Jr. (2005). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial Reverte S.A. México.

2.4.5.5 ENSAYOS METALOGRAFÍCOS

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. ^[2]

Métodos estándar para la determinación del tamaño de grano

La norma describe distintos métodos para la medición del tamaño de grano, los cuales se clasifican de acuerdo con el gráfico siguiente:

Procedimiento de comparación

Involucra la comparación de la estructura de grano con una serie de imágenes graduadas.

En el laboratorio se cuenta con un ocular especial para la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de comparación. En la figura 2.21a se observan las distintas plantillas de comparación visualizadas a través de dicho ocular.

El círculo exterior tiene un diámetro de 175mm, y debe coincidir con el borde de la imagen de la micrografía para respetar las magnificaciones.



Figura 2.21a Plantillas de comparación.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/49741002/TAMANO-DE-GRANO>.

^[2] SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F.

El número de cada plantilla corresponde al tamaño de grano “G” si se está observando la probeta con una magnificación de 100x. En caso de utilizar otra magnificación debe corregirse este valor mediante la suma del factor de corrección Q.

Tabla 2.6. Factor de corrección Q.

Magnificación M	Factor de corrección Q (para Mb = 100x)
50X	-2
100X	0
200X	2
400X	4

Fuente: <http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura>, Universidad Nacional del Comahue.1972, Diego M. Seiro.

Método planimétrico

Involucra el conteo del número de granos dentro de un área determinada.

La figura 2.21b muestra en el centro un círculo con una superficie de 5000mm^2 . El círculo exterior tiene un diámetro de 175mm, y debe coincidir con el borde de la imagen de la micrografía para respetar las magnificaciones.

El tamaño de grano “G” se calcula a partir de las tablas 4 y 5 de la Norma ASTM E112.

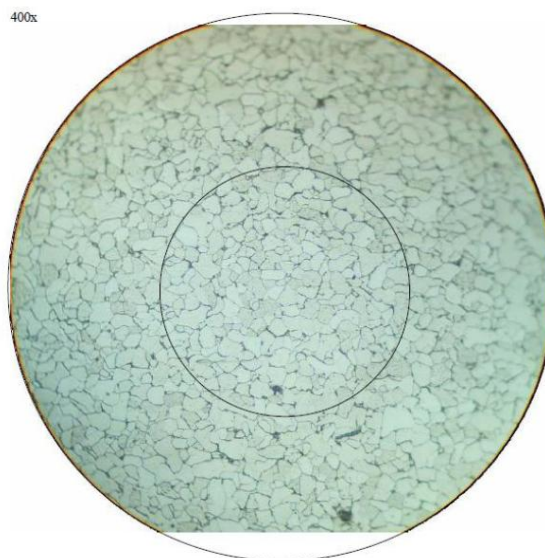


Figura 2.21b Método planimétrico.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/49741002/TAMANO-DE-GRANO>.

N_A = granos por mm^2 .

N_{Interno} = número de granos dentro del círculo.

$N_{\text{Interceptado}}$ = número de granos interceptados por el círculo.

f = múltiplo de Jeffries.

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

Para un área de $5000 \text{ mm}^2 \rightarrow f = 0,0002 M^2$ (M = magnificación).

Método de intersección

Involucra el conteo de los granos interceptados por una línea de ensayo o el número de intersecciones de la línea con los bordes de grano.

En la figura 2.21c, muestra las distintas geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección. Las cuatro líneas rectas de la imagen corresponden al método de Heyn. El método de Hilliard utiliza una circunferencia generalmente de 100, 200 o 250 mm de perímetro. Las tres circunferencias de la imagen corresponden al método de Abrams (entre las tres suman una longitud de 500mm).

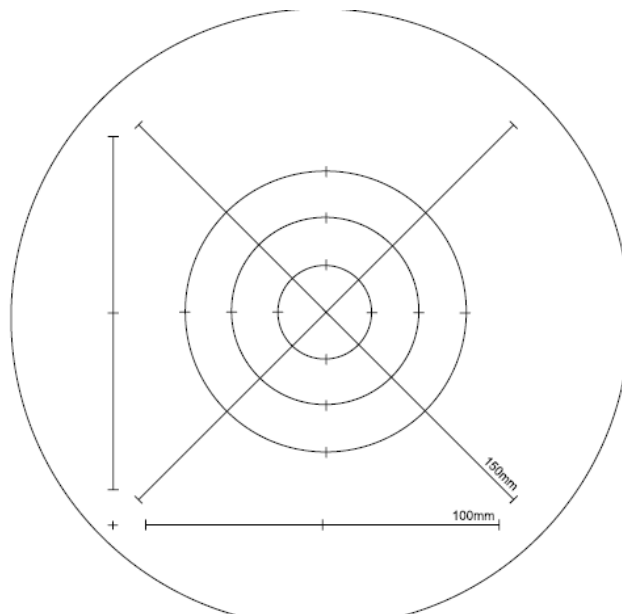


Figura 2.21c Geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/49741002/TAMANO-DE-GRANO>.

Reglas de conteo:

Una intercepción es un segmento de la línea de ensayo que pasa sobre un grano. Una intersección es un punto donde la línea de ensayo es cortada por un borde de grano. Cualquiera de los dos puede contarse con idénticos resultados en un material monofásico. Cuando se cuentan intercepciones, los segmentos al final de la línea de ensayo que penetran dentro de un grano, son anotados como media intercepción. Cuando se cuentan intersecciones, los puntos extremos de la línea de ensayo no son intersecciones y no son contados excepto cuando tocan exactamente un borde de grano, entonces debe anotarse ½ intersección. Una intersección coincidente con la unión de tres granos debe anotarse como 1 1/2.

$$\bar{N}_L = \frac{N_i}{L/M} \quad G = (6,643856 \text{Log}_{10} \bar{N}_L) - 3,288$$

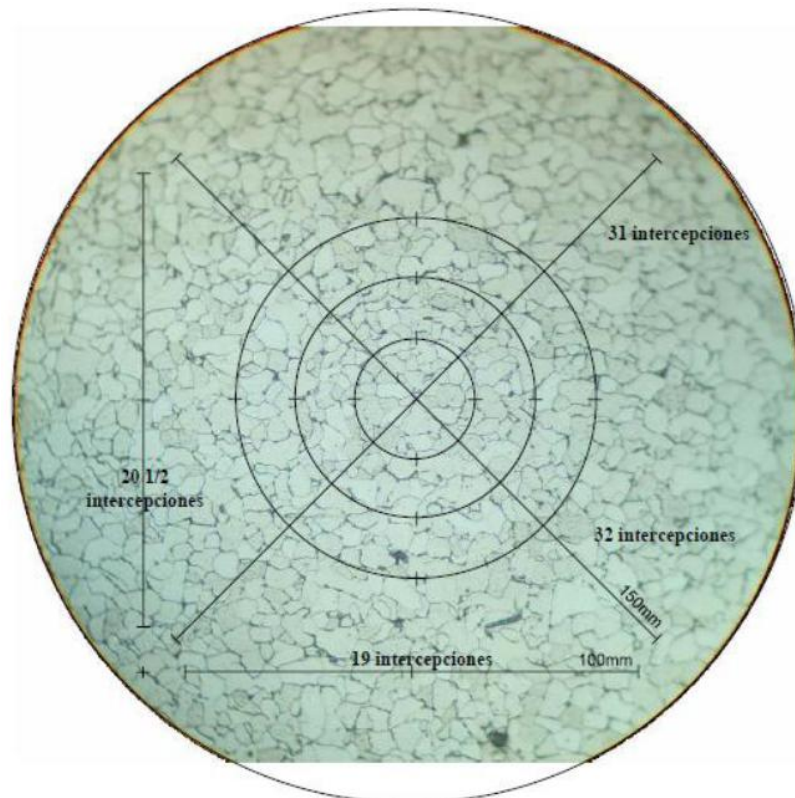


Figura 2.21d Geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/49741002/TAMANO-DE-GRANO>. [21]

[22] <http://es.scribd.com/doc/49741002/TAMANO-DE-GRANO>.

2.5 Hipótesis

La aplicación de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 con electrodos AGA (B84 y B85) mediante el proceso SMAW mejorará las propiedades mecánicas en comparación con electrodo de acero al carbono E-7018.

2.6 Señalamiento de Variables

2.6.1 Variables:

Variable Independiente: Un Análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono con electrodos AGA (B84 y B85) mediante el proceso SMAW

Variable Dependiente: Propiedades mecánicas.

2.6.2 Término de Relación

Mejorará.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque.

La presente investigación se tiene un enfoque Cualitativo-Cuantitativo debido a, que se analizan diferentes materiales de aporte para juntas soldadas, los cuales a su vez son explicativos, ya que se realizará diferentes tipos de ensayos para determinar las propiedades mecánicas y su estructura metalográfica resultantes en los cordones de soldadura del acero al carbono A36 una vez realizando la aplicación de los revestimientos duros.

Además de acuerdo al paradigma mencionado se hace énfasis en métodos y técnicas que permiten economizar y optimizar procesos de fabricación

La investigación también se apoyó en la información existente y se recurrirá a documentación bibliográfica para el análisis de la misma.

3.2. Modalidad y tipo de la investigación.

3.2.1. Modalidad básica de la investigación.

➤ **Bibliográfica.**

La investigación bibliográfica se lo elaboro en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico.

➤ **Experimental:**

Este tipo de investigación se efectuó en los laboratorios de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en base a los ensayos que puedan

garantizar los resultados en cuanto a las mejoras sobre las propiedades mecánicas del acero al carbono A36.

3.3. Nivel o Tipo de Investigación.

➤ **Exploratorio.**

Se indago todo y cada uno de los detalles del proyecto, tanto sus técnicas, usos y aplicación, para realizar comparaciones en cuanto a las propiedades mecánicas de las uniones soldadas de aceros al carbono A36 mediante el proceso SMAW existentes en la construcción de piezas mecánicas.

➤ **Descriptiva.**

Además fue descriptivo ya que se busca especificar las propiedades que se puede obtener al realizar el análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36. Se estudió los fenómenos tal y como aparecen en el desarrollo de todos los ensayos que se van a realizar en el presente estudio.

➤ **Explicativa:**

Se encarga de detallar los resultados obtenidos en el análisis buscar el porque de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

➤ **Asociación de variables.**

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

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población.

En el presente análisis se procederá a definir la población la cual será objeto de investigación de la siguiente manera:

1. Acero al carbono
2. Material de aporte.
3. Procesos de soldadura.
4. Propiedades Mecánicas.

3.4.2. Muestra.

La muestra que se va a considerar en este análisis para los diferentes tipos de ensayos como: el de tracción en sección reducida, pruebas de impacto, dureza y metalografía, se detalla a continuación.

a) Juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW con electrodo AGA B84.

- 5 probetas para ensayo a tracción.
- 5 probetas para ensayo de impacto.
- 5 probetas para ensayo de dureza.

b) Juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW con electrodo AGA B85.

- 5 probetas para ensayo a tracción.
- 5 probetas para ensayo de impacto.
- 5 probetas para ensayo de dureza.

c) Juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW con electrodo E-7018.

- 5 probetas para ensayo a tracción.
- 5 probetas para ensayo de impacto.
- 5 probetas para ensayo de dureza.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:

Variable Independiente: Análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono mediante el proceso SMAW.

Tabla 3.5.1 Variable Independiente

CONTEXTULIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La aplicación de recubrimientos duros en superficies consiste en depositar alguna clase de aleación especial sobre una parte metálica por alguno de los diversos métodos de aplicación de soldadura	Recubrimientos duros.	<ul style="list-style-type: none"> Material base. (unión soldada). Material de aporte 	<p>Acero al Carbono.</p> <p>¿Cuáles son los electrodos adecuados para aplicar recubrimientos duros en acero al carbono mediante el proceso SMAW?</p>	<p>T: Observación de laboratorio</p> <p>I: Manuales, Catálogos, Normas</p> <p>T: Observación de laboratorio</p> <p>I: Manuales, Catálogos, Normas</p>

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Variable Dependiente: Propiedades Mecánicas.

Tabla 3.5.2 Variable Dependiente.

CONTEXTULIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Las propiedades mecánicas de los materiales se determinan realizando ensayos cuidadosos de laboratorio que reproducen las condiciones de servicio hasta donde sea posible. Entre los ensayos se tiene, tracción, dureza, metalografía (tamaño de grano).</p>	<p>➤ Propiedades Mecánicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la tracción. (MPa) • Dureza. (HB, HRc) • Metalografía. (Componentes metalográficos %) • Impacto. (J) 	<p>¿Cuál es la resistencia a la tracción que debe tener la unión soldada?</p> <p>¿Qué dureza debe tener la unión soldada?</p> <p>¿Cuál es el tamaño de grano que debe tener la unión soldada?</p> <p>¿Qué energía debe tener la unión soldada?</p>	<p>T: Observación de laboratorio I: Manuales, Catálogos, Normas.</p> <p>T: Observación de laboratorio I: Manuales, Catálogos, Normas.</p> <p>T: Observación de laboratorio I: PC, Microscopio, Cuaderno de notas</p> <p>T: Observación de laboratorio I: Manuales, Catálogos, Normas.</p>

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

3.6. Recolección de la Información.

Para la recolección de la información de los diferentes ensayos como: tracción, dureza, impacto y análisis metalográficos, realizados en las probetas de acero al carbono A36 de ½” de espesor soldadas mediante el proceso SMAW, con electrodo E-7018, AGA B84 y AGA B85, se aplicaron técnicas como observación, comparación con catálogos y normas, las mismas que fueron realizadas en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

3.7. Procesamiento y Análisis.

Una vez recolectado los datos y resultados se realizaron la revisión crítica detectando datos defectuosos, incompletos etc. Además se realizó la tabulación por medio de graficas para realizar su respectiva comparación, análisis, discusión y comparación.

Luego se mostro en resumen las propiedades mecánicas ensayadas en las juntas soldadas de acero al carbono A36 de ½” mediante el proceso SMAW con electrodo AGA B4 y B85 con respecto al electrodo E-7018.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados

4.1.1. Diseño de la junta soldada

De acuerdo con la norma AWS D1.1 (Anexo B); el diseño de la junta soldada es como se indica a continuación.

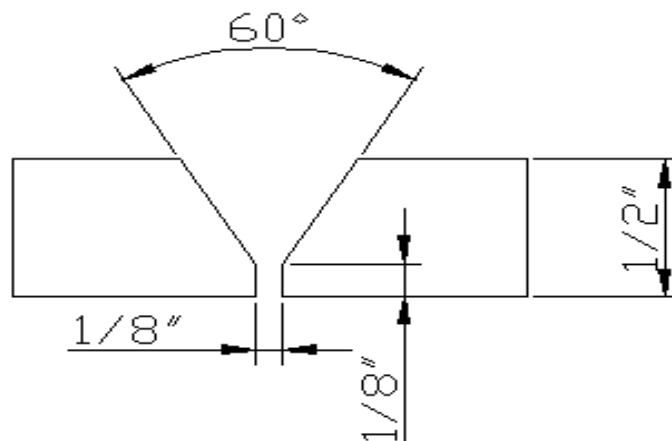


Figura 4.1 Diseño de juntas soldadas.
Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

4.1.2 Elección del tipo de electrodo

Los tipos de electrodos usados para la preparación de las juntas soldadas son E6011, E7018 de 1/8 de pulgada, seleccionado según la norma AWS A5.1 (Anexo: C.1, C.2) con sus respectivas características, además los electrodos AGA B84 y AGA B85 (Anexos: C.3, C.4) respectivamente, con sus recomendaciones.

4.1.3 Pases a realizar en la junta

Ejemplo de sucesión de pasadas para la soldadura en V, soldada en posición 1G, por un solo lado. Los números en la Fig. 4.2, indican la sucesión de las pasadas. Para el presente caso son cuatro pasadas, (1) cordón de raíz, (2) cordón en caliente, (3) cordón de relleno, (4) cordón de acabado, los mismos que se especifican más adelante.

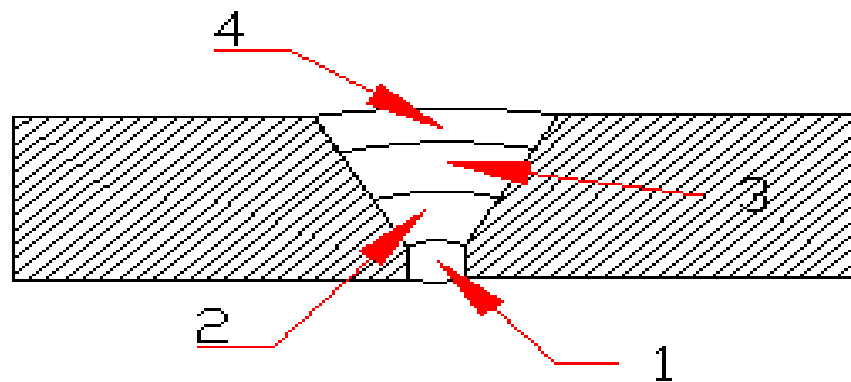
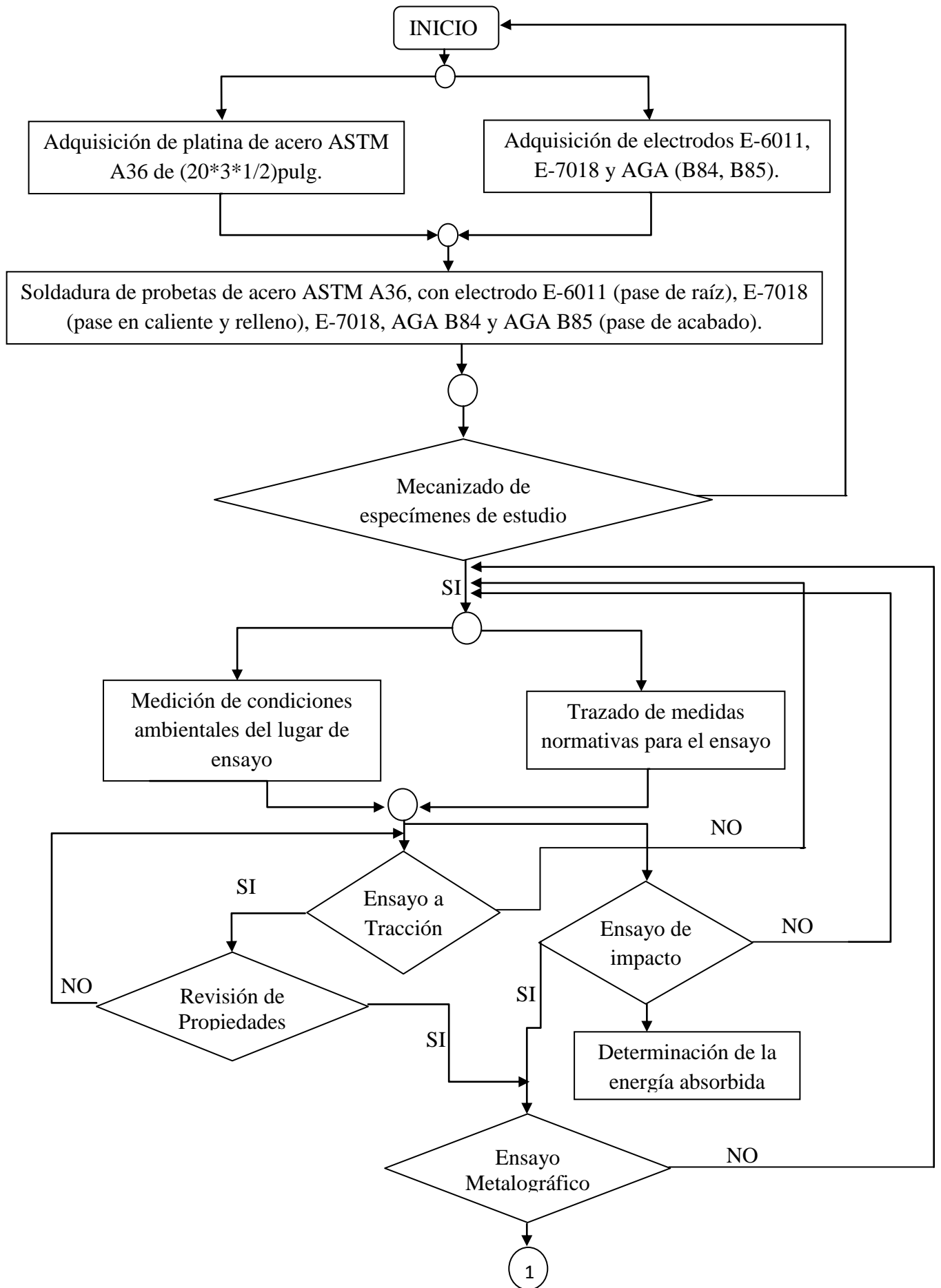
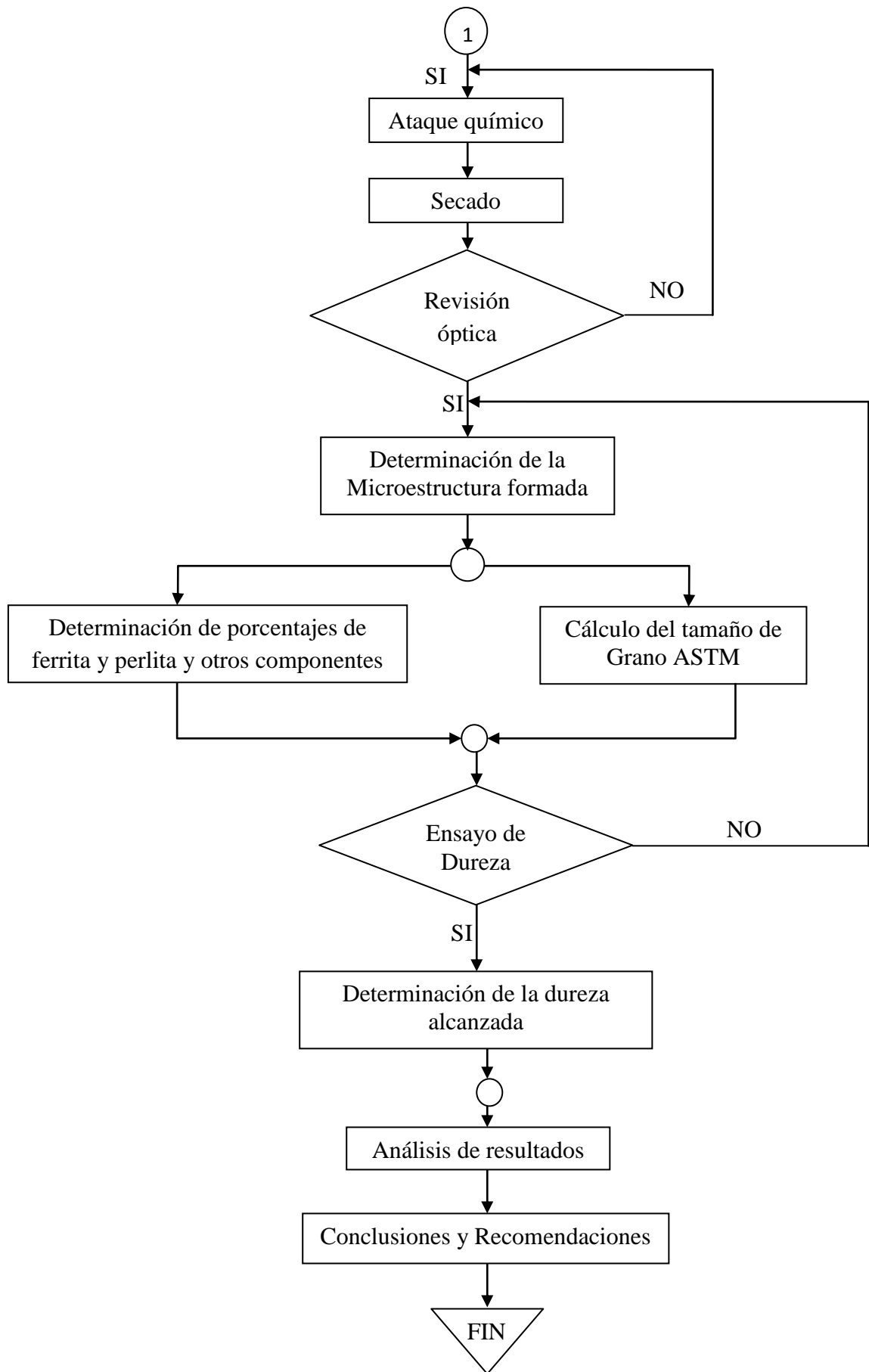


Figura 4.2 Pases de Soldadura
Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

4.2. Proceso de análisis de resultados

En el presente estudio se ha considerado el siguiente diagrama de flujo para la toma de resultados, el cual está adaptado según el desarrollo del estudio de recubrimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 utilizando electrodos AGA B84, AGA B85 y E-7018 como cordón de soldadura de juntas soldadas y la incidencia en las propiedades mecánicas de interés.





4.3. Presentación de resultados

Con la finalidad de obtener un educado manejo de los resultados y de la información correspondiente al proceso de soldadura y los ensayos realizados durante el desarrollo del trabajo de investigación, se han establecido formatos para la toma de datos y resultados, como: tracción, tenacidad, dureza y análisis metalográfico para conocer las propiedades mecánicas de interés en el estudio ejecutado.

A continuación se detalla la numeración de probetas y ensayos realizados en las juntas soldadas de acero ASTM A36 con electrodos AGA B84, AGA B85 y E-7018.

ENSAYO DE TRACCIÓN:

- **Probetas AGA B84:** 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5.
- **Probetas AGA B85:** 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10.
- **Probetas E-7018:** 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15

ENSAYO DE IMPACTO:

- **Probetas AGA B84:** 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5.
- **Probetas AGA B85:** 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10.
- **Probetas E-7018:** 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15.

ENSAYO METALOGRÁFICO:

- **Probetas AGA B84:** 3.1 (MB, MA, ZAT).
- **Probetas AGA B85:** 3.2 (MB, MA, ZAT).
- **Probetas E-7018:** 3.3 (MB, MA, ZAT).

ENSAYO DE DUREZA:

- **Probetas AGA B84:** 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5.
- **Probetas AGA B85:** 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10.
- **Probetas E-7018:** 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15.

4.3.1. ANÁLISIS DEL ACERO ASTM A36 COMO VIENE DE FÁBRICA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
DATOS INFORMATIVOS					
Probeta:	N° MB	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:		Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha de ejecución:	03/09/2012
Temperatura ambiente del lugar:			22°C	Flujo de aire del medio:	Estático
ESPECIFICACIONES DEL ACERO UTILIZADO					
Material	Acero	Tipo:	ASTM A36		
Espesor	1/2"	Resistencia a la tracción	58-80 Ksi		
Longitud	8"	Módulo elástico	29000 ksi		
Características	Platina	Proceso	Soldadura		
OBSERVACIÓN					
<p>Las propiedades registradas fueron obtenidas de libro Ciencia de materiales, Selección y Diseño”, de Pat L. Mangonon</p>					
Autor: Egdo. Telenchana José Luis					

4.3.1.1. ANÁLISIS METALOGRÁFICO DEL ACERO ASTM A36 COMO VIENE DE FÁBRICA



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° MB	
Parte específica:		Material base	
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	03/09/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA	
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie por:		Pulido mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 4	Tiempo de ataque:	8 seg

RESULTADO: Buena calidad, se observan claramente los bordes de grano.



Metal base 200 X, Nital 4, 8 seg

Microestructura formada: Buena

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 200X

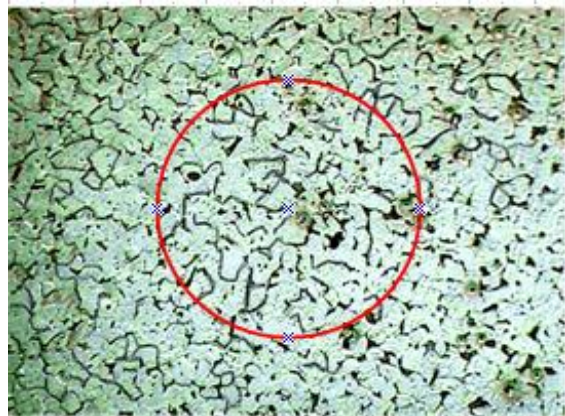
$$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(54 + \frac{29}{2} \right)$$

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

$$NA = 8 * 68,5 = \mathbf{548}$$

$$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$$

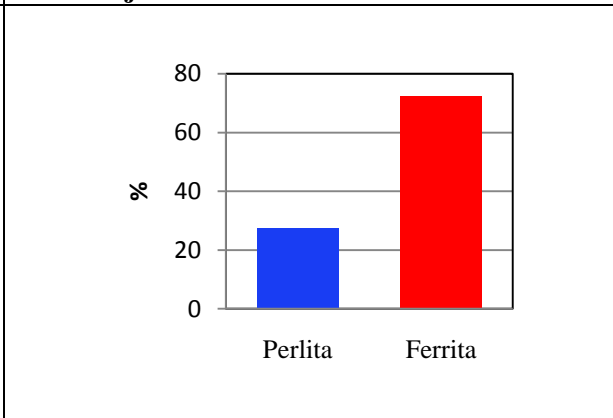
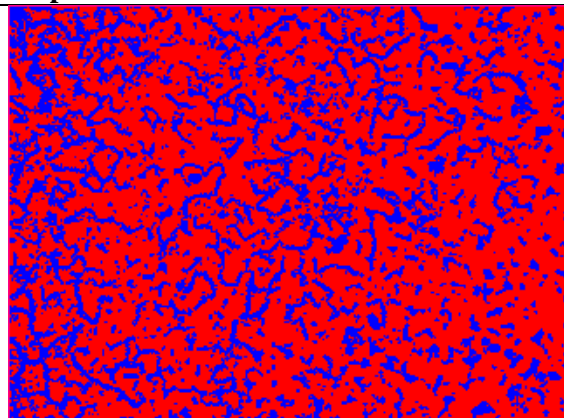
$$G = 3.321918 * \log(548) - 2.954$$



Tamaño de grano: 6,14 \cong **6**

Componentes: Ferrita, Perlita

Componentes microestructurales: **Porcentajes:**



Resistencia a la tracción aproximada: (RTA)

Cálculo:

$$R.T.A = \frac{28 * \%Ferrita + 84 * \%Perlita}{100} = \frac{28 * 72,4 + 84 * 27,6}{100}$$

R.T.A: 43.45Kg/mm² = 425,71 MPa.

La microestructura estudiada está compuesta por un 72,4 % de Ferrita y 27,6 % de Perlita, presentando un tamaño de 7. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 425,71 MPa. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada en mayor grado, puesto que la resistencia a la tracción del material base A36 es de 400 ≤ RT ≤ 550 MPa (Anexo A.2).

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

4.3.2. ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B84



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.1	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	06/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	½"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA – B84		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de ½" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA – B84). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	06/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	20978 Kg	Carga de ruptura:	20457 Kg
RESULTADO:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN</p> <p>PROBETA 1.1 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B84</p>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]}$		$\epsilon = \frac{233 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 16,5 \%$	
<p>[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)</p>			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]}$		$\% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 375,5}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 22,39\%$	
<p>[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)</p>			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o}^{[22]}$		$S_{ut} = \frac{20978}{483,87} = 43,354 \frac{Kgf}{mm^2} \quad S_{ut} = 424,87 MPa$	
<p>[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)</p>			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 26 Kgf/mm^2 = 254,8 MPa$			
<p>[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)</p>			
$E = \left(\frac{\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - K\bar{X}^2} \right)^{[19]}$		$E = 199,42 GPa$	
<p>[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)</p>			
<p>Autor: Egdo. Telenchana José Luis</p>			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.2	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM		Fecha de ejecución:	06/10/2012	
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	½"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA - B84		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de ½" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA - B84). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	06/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	19919 Kg	Carga de ruptura:	19270 Kg
RESULTADO:			
GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">PROBETA 1.2 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B84</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \qquad \epsilon = \frac{228 - 200}{200} * 100 \qquad \epsilon = 14 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \qquad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 387}{483,87} * 100 \qquad \% \text{ reducción} = 20,01\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o}^{[22]} \qquad S_{ut} = \frac{19919}{483,87} = 41,166 \frac{Kg}{mm^2} \qquad S_{ut} = 403,42 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 24,5 \text{ Kg/mm}^2 = 240,1 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \qquad E = 206,02 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.3	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	07/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:		Estático	

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	½"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA B84		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de ½" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA – B84). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	07/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	18551 Kgf	Carga de ruptura:	17930 Kgf
RESULTADO:			
GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">PROBETA 1.3 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B84</p> <p style="text-align: center;">σ (Kgf/mm²)</p> <p style="text-align: center;">Deformación (mm/mm)</p> <p style="text-align: right;">--- Sy</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]}$		$\epsilon = \frac{228 - 200}{200} * 100$	$\epsilon = 14 \%$
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]}$		$\% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 379}{483,87} * 100$	$\% \text{ reducción} = 21,67\%$
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}^{[22]}}{A_o}$		$S_{ut} = \frac{18551}{483,87} = 38,338 \frac{Kg}{mm^2}$	$S_{ut} = 375,71 MPa$
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 24,8 Kgf/mm^2 = 243,04 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]}$		$E = 203,37 GPa$	
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.4	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	07/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	½"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA B84		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de ½" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA – B84). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	07/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	20681 Kgf	Carga de ruptura:	20330 Kgf
RESULTADO:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>PROBETA 1.4 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B84</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \quad \epsilon = \frac{230 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 15 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \quad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 385}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 20,43\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}^{[22]}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{20681}{483,87} = 42,74 \frac{Kg}{mm^2} \quad S_{ut} = 418,852 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 24,8 Kgf/mm^2 = 243,04 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \quad E = 201,47 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.5	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	07/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:		Estático	

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	½"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA B84		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de ½" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA – B84). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	07/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	19504 Kgf	Carga de ruptura:	18670 Kgf
RESULTADO:			
GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">PROBETA 1.5 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B84</p> <p style="text-align: center;">Deformación mm/mm</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \quad \epsilon = \frac{229 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 14,5 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \quad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 378,5}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 21,77\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{19504}{483,87} = 40,308 \frac{Kg}{mm^2} \quad S_{ut} = 395,01 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 24 \text{ Kg/mm}^2 = 235,2 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \quad E = 205,07 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			

4.3.2.1 ENSAYO DE IMPACTO DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B84

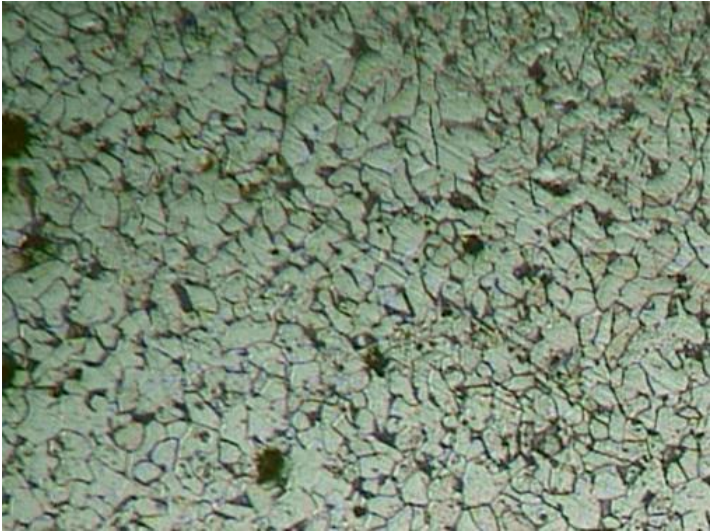
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO DE FRACTURA						
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS						
ENSAYO 2 (Probetas: 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5)						
Realizado bajo la norma:			AWS B4-0-2007, ASTM E23-01			
Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis			
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM	Fecha de ejecución:	07/11/2012			
Instrumento:		Máquina de ensayo Charpy				
Temperatura ambiente del lugar	20°C	Flujo de aire del medio:	Estático			
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR						
Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36			
Proceso de soldadura:		SMAW				
Tipo:		Manual				
Material de aporte en acabado:		AGA B-84				
Dimensiones:		10 X 10 X 55 (mm)				
Tipo de entalla:		Tipo en " V "				
DETALLE REFERENCIAL DE LOS ESPÉCIMENES ENSAYADOS						
 <p>Charpy</p>			DESPUES DEL ENSAYO 			
REGISTRO DE DATOS OBTENIDOS:						
# Probeta	Ubicación de entalla	Área de sección transversal (mm ²)	Energía absorbida Máquina (J)	Ensayo de caída de peso		
				Rota	Separada	No Rota
1	Cordón	99,5	55	Si	Si	
2	Cordón	100	60	Si		
3	Cordón	100	180	Si		
4	Cordón	100	80	Si		
5	Cordón	100	80	SI		
Autor: Egdo. Telenchana José Luis						

**4.3.2.2 ENSAYO METALOGRAFICO DE PROBETAS CON ELECTRODO
AGA B84**



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



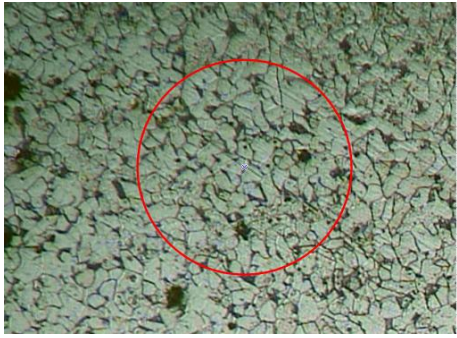
ENSAYO METALOGRAFICO			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	3
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 1.1
Parte específica:		Material base	
Solicitado por:		UTA – FICM	Fecha: 10/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA	
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie por:		Pulido mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 4	Tiempo de ataque:	15 seg
RESULTADO: Calidad buena, se observan claramente los bordes de grano.			
			
Metal base 200 X, Nital 4, 15 seg			
Microestructura formada: Buena			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			

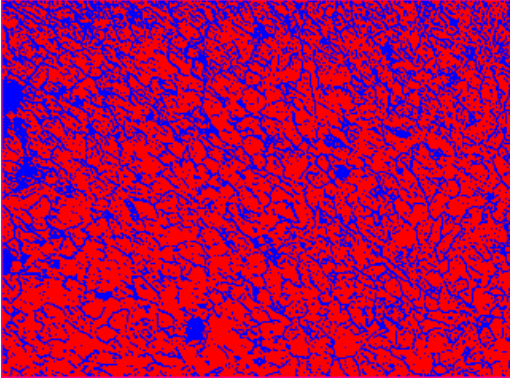
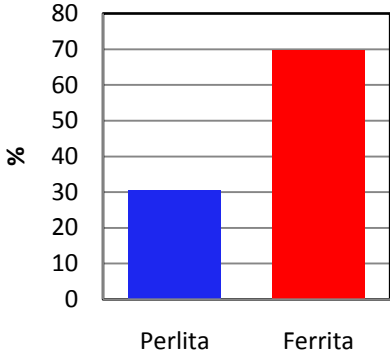


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 200X
$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(82 + \frac{42}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por jeffris (200x)}$ $NA = 8 * 103 = \mathbf{824}$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(824) - 2.954$	
Tamaño de grano:	6,73 \cong 7

Componentes: Ferrita, Perlita							
Componentes microestructurales:	Porcentajes:						
	 <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <caption>Porcentajes de Componentes</caption> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>30,4</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>69,6</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Porcentaje (%)	Perlita	30,4	Ferrita	69,6
Componente	Porcentaje (%)						
Perlita	30,4						
Ferrita	69,6						

Resistencia a la tracción aproximada: (RTA)

Cálculo:

$$R.T.A = \frac{28 * \%Ferrita + 84 * \%Perlita}{100} = \frac{28 * 69,6 + 84 * 30,4}{100}$$

R.T.A: 45.02Kg/mm² = 441,19 MPa.

La microestructura estudiada está compuesta por un 69,6% de Ferrita y 30,4% de Perlita, presentando un tamaño de 7. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 45,02 Kg/mm². La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada en mayor grado, puesto que la resistencia a la tracción del material base A36 está entre 400 ≤ RT ≤ 550 Kg/mm² (Anexo A.2).

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	3
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 1.1
Parte específica:	Cordón de soldadura		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	10/12/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

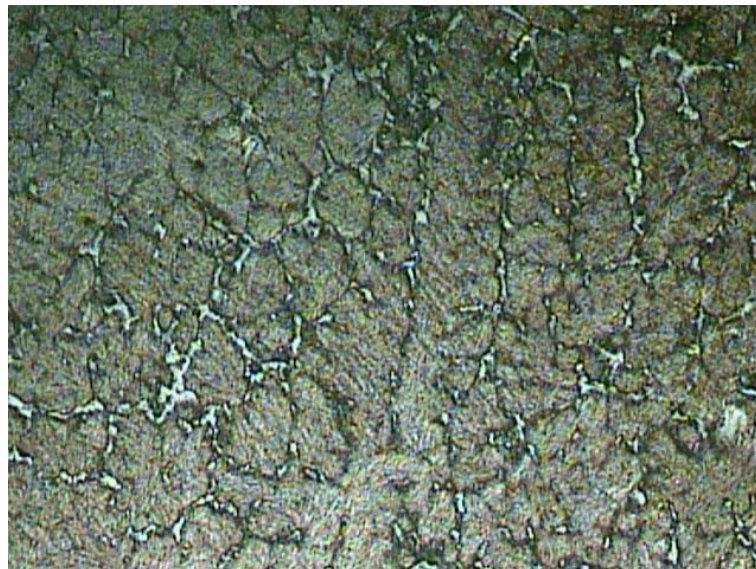
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie por:	Pulido mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2	Tiempo de ataque:	1 min

RESULTADO: Calidad buena, se puede observar claramente los bordes de grano



Cordón de soldadura 200 X, Nital 2, 1 min

Microestructura formada: Buena


Autor: Egdo. Telenchana José Luis

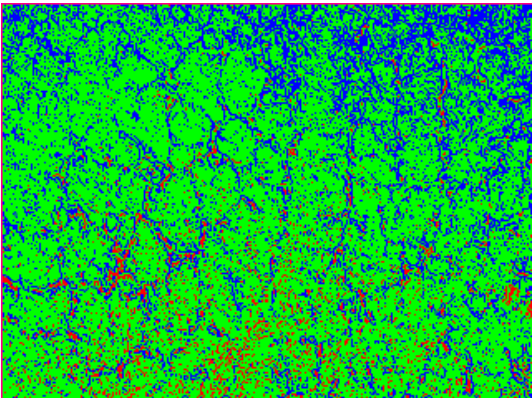
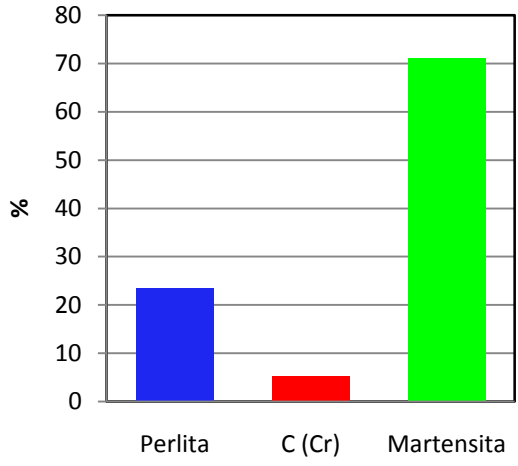


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 200X
$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(18 + \frac{11}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por jeffris (200x)}$ $NA = 8 * 23,5 = \mathbf{188}$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(188) - 2.954$	
Tamaño de grano:	4,6 \cong 4,6

Componentes: Martensita, Carburos de Cromo (C (Cr)), Perlita									
Componentes microestructurales:	Porcentajes:								
	 <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <caption>Porcentajes de Componentes Microestructurales</caption> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>23,6</td> </tr> <tr> <td>C (Cr)</td> <td>5,3</td> </tr> <tr> <td>Martensita</td> <td>71,1</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Porcentaje (%)	Perlita	23,6	C (Cr)	5,3	Martensita	71,1
Componente	Porcentaje (%)								
Perlita	23,6								
C (Cr)	5,3								
Martensita	71,1								

Interpretación de resultados:

La microestructura estudiada está compuesta por un 71,1 % de Martensita, 23,6 % de Perlita y 5,3 % de Carburos de Cromo, presentando un tamaño de grano de 4,6. Estos componentes dan lugar a un cordón de soldadura de características mecánicas muy elevadas, pues el alto contenido de Martensita, el cual aumenta su dureza de la junta soldada. Además contiene Carburos de Cromo la cual mejora significativamente la dureza en la junta soldada, presentándose un cordón de soldadura aceptable.

Microestructura formada: Buena

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO METALOGRAFICO

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	3
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 1.1		
Parte específica:	Zona afectada por el calor		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	10/12/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

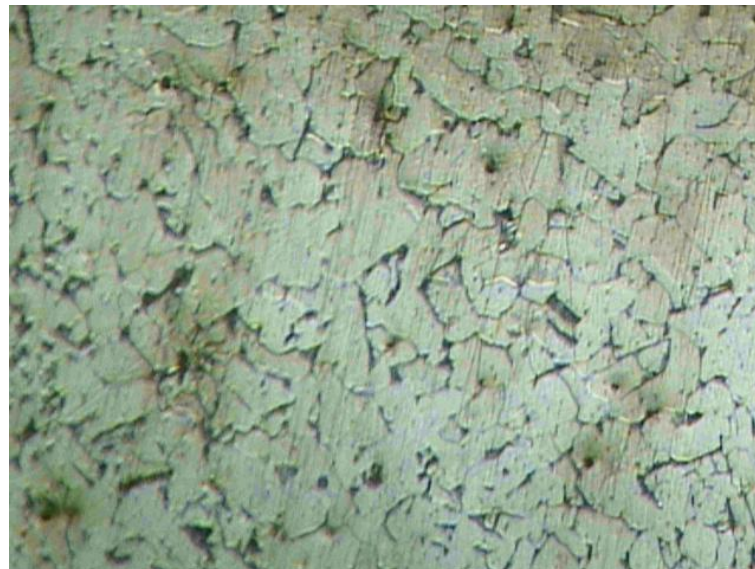
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie por:	Pulido mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 4	Tiempo de ataque:	15 seg

RESULTADO: Calidad baja, No se puede observar claramente los bordes de grano



Zona afectada por el calor 200 X, Nital 4, 15 seg

Microestructura formada: Buena

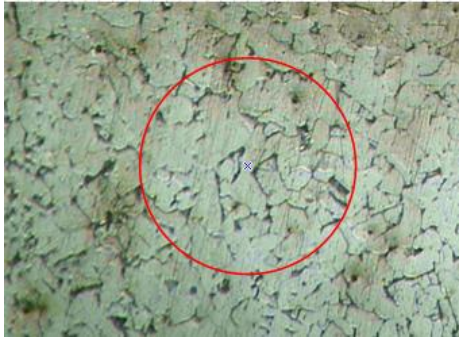
Autor: Egdo. Telenchana José Luis

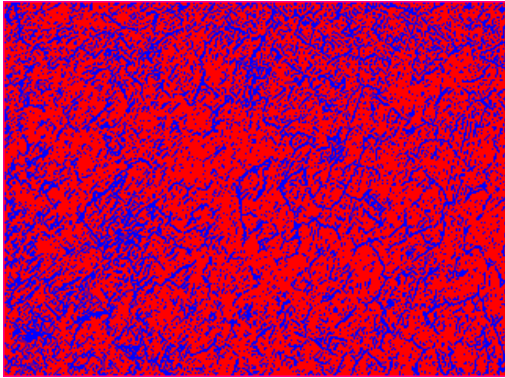
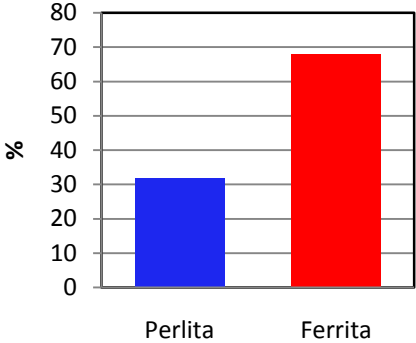


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 200X
$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(24 + \frac{22}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por jeffris (200x)}$ $NA = 8 * 35 = \mathbf{280}$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(280) - 2.954$	
Tamaño de grano:	5,17 \cong 5

Componentes: Ferrita, Perlita	
Componentes microestructurales:	Porcentajes:
	

Resistencia a la tracción aproximada: (RTA)

Cálculo:



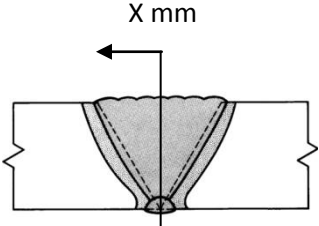
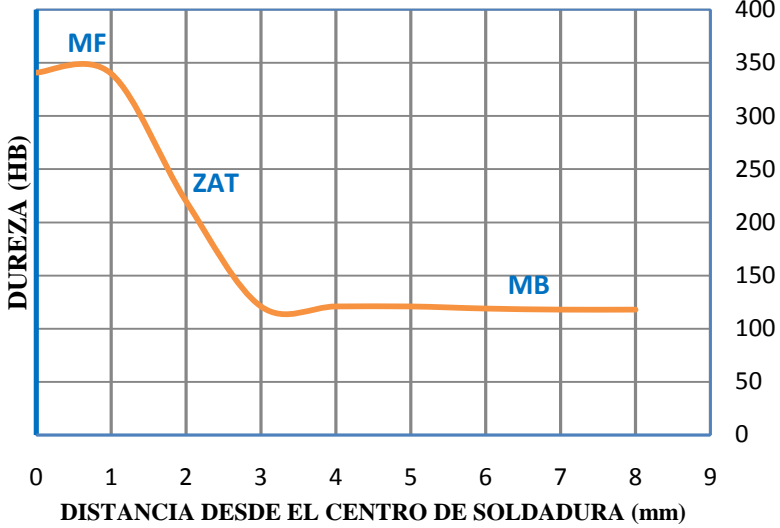
$$R.T.A = \frac{28 * \%Ferrita + 84 * \%Perlita}{100} = \frac{28 * 69,1 + 84 * 30,9}{100}$$

R.T.A: 45,30 Kg/mm² = 443,94 MPa

La microestructura estudiada está compuesta por un 69,1% de Ferrita y 30,9% de Perlita, presentando un tamaño de 5. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 443,94 MPa. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada en mayor grado, puesto que la resistencia a la tracción del material base A36 está entre $400 \leq RT \leq 550$ MPa (Anexo A.2).

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

4.3.2.3 ENSAYO DE DUREZA DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B84

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																						
ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA																							
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS																							
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4																				
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.1																					
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B84 y Material base																						
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012																				
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM																					
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio																				
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO																							
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA																						
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena																				
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:																					
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																							
Método		Rockwell C/Brinell																					
Tipo de penetrador:		Cono de diamante/Identador: 2.5 mm																					
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min																				
RESULTADO:																							
	<p style="text-align: center;">BARRIDO DE DUREZA PROBETA AGA B84 (4.1)</p>  <table border="1"> <caption>Data points from the hardness profile graph</caption> <thead> <tr> <th>Distancia desde el centro de soldadura (mm)</th> <th>Dureza (HB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>341</td></tr> <tr><td>1</td><td>341</td></tr> <tr><td>2</td><td>250</td></tr> <tr><td>3</td><td>118</td></tr> <tr><td>4</td><td>118</td></tr> <tr><td>5</td><td>118</td></tr> <tr><td>6</td><td>118</td></tr> <tr><td>7</td><td>118</td></tr> <tr><td>8</td><td>118</td></tr> </tbody> </table>			Distancia desde el centro de soldadura (mm)	Dureza (HB)	0	341	1	341	2	250	3	118	4	118	5	118	6	118	7	118	8	118
Distancia desde el centro de soldadura (mm)	Dureza (HB)																						
0	341																						
1	341																						
2	250																						
3	118																						
4	118																						
5	118																						
6	118																						
7	118																						
8	118																						
<p>Para la (probeta AGA B84 4.1), el máximo endurecimiento encontrado fue de 341 HB, el mismo que está ubicado en el metal de aporte .También se encontró una dureza mínima de 118 HB, en el metal base.</p>																							
Autor: Egdo. Telenchana José Luis																							



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 4.2
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B84 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

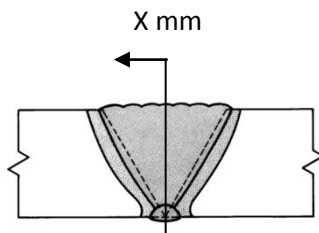
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

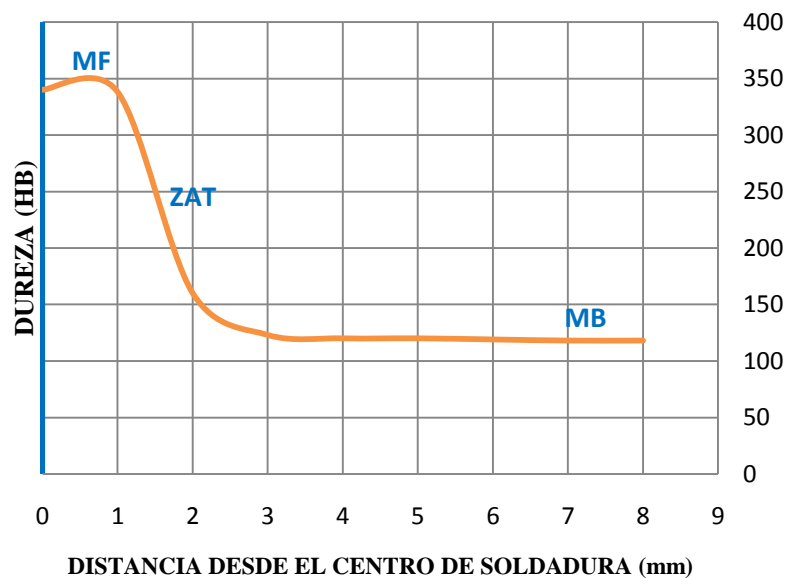
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Rockwell C/Brinell		
Tipo de penetrador:	Cono de diamante/Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA AGA B84 (4.2)



Para la (probeta AGA B84 4.2), el máximo endurecimiento encontrado fue de **240 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte .También se encontró una dureza mínima de **118 HB**, en el metal base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.3	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B84 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

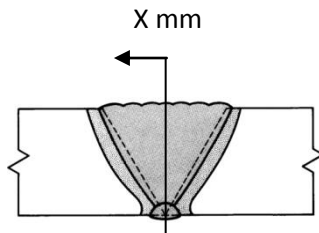
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

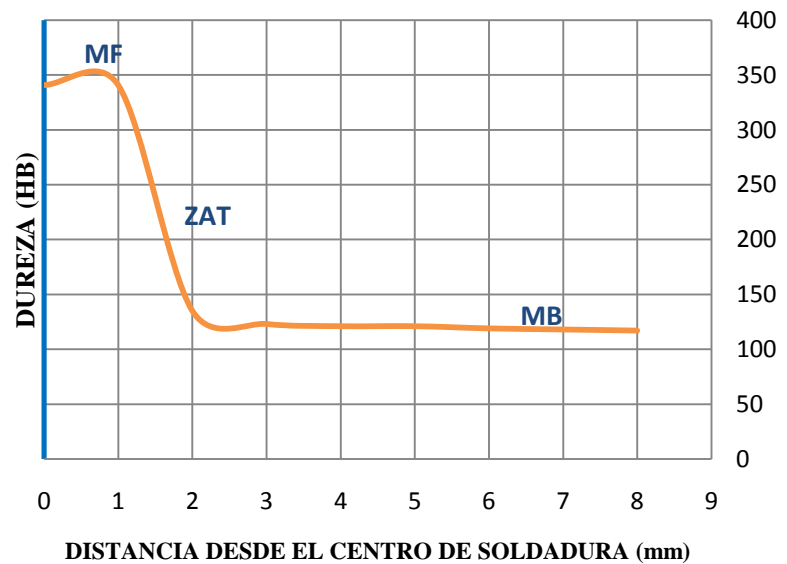
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Rockwell C/Brinell		
Tipo de penetrador:	Cono de diamante/Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA AGA B84 (4.3)



Para la (probeta AGA B84 4.3), el máximo endurecimiento encontrado fue de **341 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte. También se encontró una dureza mínima de **117 HB**, en el metal base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 4.4
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B84 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

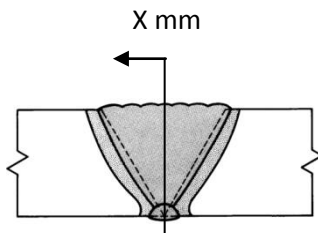
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

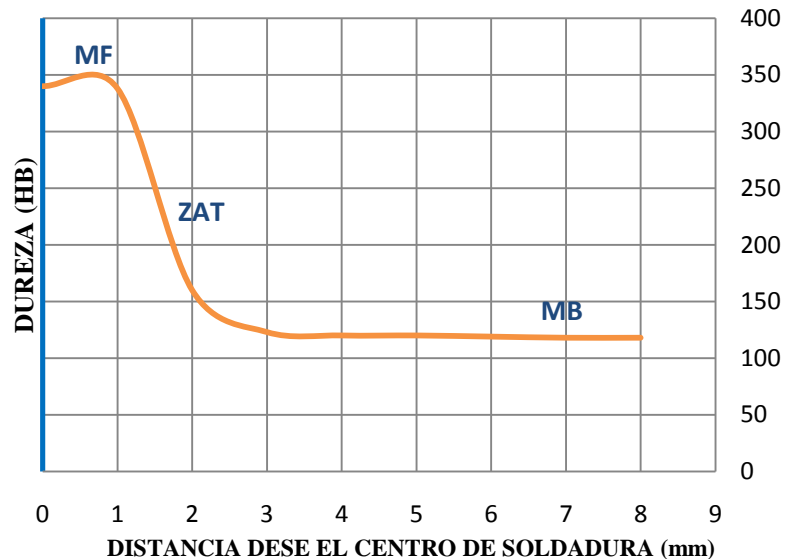
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Rockwell C/Brinell		
Tipo de penetrador:	Cono de diamante/Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA AGA B84 (4.4)



Para la (probeta AGA B84 4.4), el máximo endurecimiento encontrado fue de **340 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte. También se encontró una dureza mínima de **118 HB**, en el metal base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.5	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B84 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

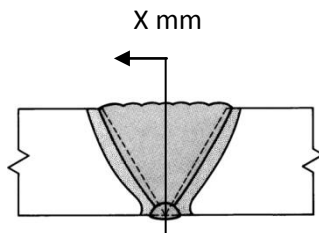
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

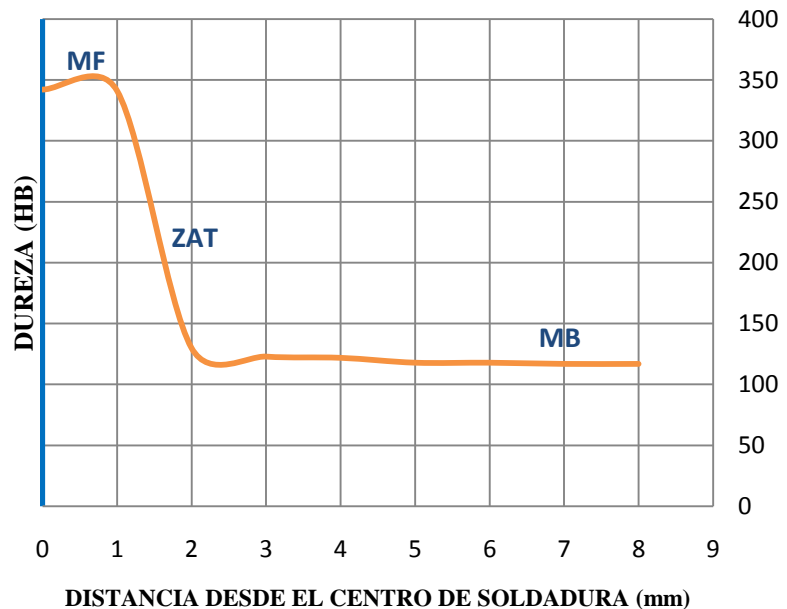
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Rockwell C/Brinell		
Tipo de penetrador:	Cono de diamante/Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA AGA B84 (4.5)



Para la (probeta AGA B84 4.5), el máximo endurecimiento encontrado fue de **342 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte. También se encontró una dureza mínima de **117 HB**, en el metal base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

4.3.3. ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B85



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.6	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM		Fecha de ejecución:	04/10/2012	
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	½"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA - B85		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de ½" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA – B85). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	04/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	18440 Kgf	Carga de ruptura:	17633 Kg
RESULTADO:			
GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">PROBETA 1.6 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B85</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ε):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]}$		$\epsilon = \frac{208,5 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 4,25 \%$	
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]}$		$\% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 418}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 13,61\%$	
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (Sut):			
$Sut = \frac{P_{max}}{A_o}^{[22]}$		$Sut = \frac{18440}{483,87} = 38,109 \frac{Kg}{mm^2} \quad Sut = 373,46 MPa$	
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$Sy_{\epsilon=0,2\%}^{[22]} = 26 \text{ Kg/mm}^2 = 254,8 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]}$			
$E = 206,67 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.7	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	05/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	½"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA – B85		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de ½" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA – B85). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	05/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	18452 Kgf	Carga de ruptura:	18188 Kg
RESULTADO:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN</p> <p>PROBETA 1.7 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B85</p>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \quad \epsilon = \frac{215 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 7,5\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \quad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 412,5}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 14,74\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o}^{[22]} \quad S_{ut} = \frac{18452}{483,87} = 38,134 \frac{Kg}{mm^2} \quad S_{ut} = 373,71 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 26,8 Kgf/mm^2 = 262,64 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \frac{\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - K\bar{X}^2}^{[19]} \quad E = 208,21 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.8	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	05/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	1/2"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA - B85		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de 1/2" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA - B84). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	05/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	17991 Kgf	Carga de ruptura:	17873 Kgf
RESULTADO:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN</p> <p>PROBETA 1.8 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B85</p>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \qquad \epsilon = \frac{212 - 200}{200} * 100 \qquad \epsilon = 6 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \qquad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 405,8}{483,87} * 100 \qquad \% \text{ reducción} = 16,13\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}^{[22]}}{A_o} \qquad S_{ut} = \frac{17991}{483,87} = 37,181 \frac{Kg}{mm^2} \qquad S_{ut} = 364,37 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 26 \text{ Kg/mm}^2 = 254,8 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \qquad E = 201,92 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.9	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	05/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	1/2"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA – B85		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de 1/2" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA – B85). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	05/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	17751 Kgf	Carga de ruptura:	17653 Kgf
RESULTADO:			
GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">PROBETA 1.9 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B85</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ε):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \quad \epsilon = \frac{210 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 5 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \quad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 411,25}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 15\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (Sut):			
$Sut = \frac{P_{max}}{A_o}^{[22]} \quad Sut = \frac{17751}{483,87} = 36,68 \frac{Kg}{mm^2} \quad Sut = 359,46 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$Sy_{\epsilon=0,2\%}^{[22]} = 25,8 Kgf/mm^2 = 252,84 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \quad E = 203,22 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.10	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	05/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	1/2"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AGA – B85		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO





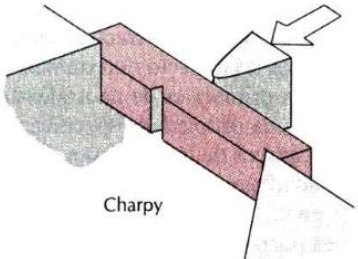

OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de 1/2" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (AGA – B85). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	05/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	17840 Kgf	Carga de ruptura:	17633 Kgf
RESULTADO:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>PROBETA 1.10 SOLDADA CON ELECTRODO AGA B84</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \quad \epsilon = \frac{209 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 4,5 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \quad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 413,7}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 14,5\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{17840}{483,87} = 36,869 \frac{Kg}{mm^2} \quad S_{ut} = 361,31 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 26 \text{ Kg/mm}^2 = 254,8 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \quad E = 204,12 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			

4.3.3.1. ENSAYO DE IMPACTO DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B85

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO DE FRACTURA						
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS						
ENSAYO 2 (Probetas: 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10)						
Realizado bajo la norma:			AWS B4-0-2007, ASTM E23-01			
Autorizado por:		Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:		Egdo. Telenchana José Luis	
Lugar de realización:		Laboratorio de materiales - FICM	Fecha de ejecución:		07/11/2012	
Instrumento:			Máquina de ensayo Charpy			
Temperatura ambiente del lugar		20°C	Flujo de aire del medio:		Estático	
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR						
Especificación del material		Acero estructural	Tipo o grado:		ASTM - A36	
Proceso de soldadura:			SMAW			
Tipo:			Manual			
Material de aporte en acabado:			AGA B-85			
Dimensiones:			10 X 10 X 55 (mm)			
Tipo de entalla:			Tipo en " V "			
DETALLE REFERENCIAL DE LOS ESPÉCIMENES ENSAYADOS						
 <p>Charpy</p>			DESPUES DEL ENSAYO 			
REGISTRO DE DATOS OBTENIDOS:						
# Probeta	Ubicación de entalla	Área de sección transversal (mm ²)	Energía absorbida Máquina (J)	Ensayo de caída de peso		
				Rota	Separada	No Rota
1	Cordón	100	54	Si		
2	Cordón	100	50	Si		
3	Cordón	100	80	Si		
4	Cordón	99	63	Si		
5	Cordón	99,6	44	SI		
Autor: Egdo. Telenchana José Luis						

**4.3.3.2. ENSAYO METALOGRÁFICO DE PROBETAS CON ELECTRODO
AGA B85**



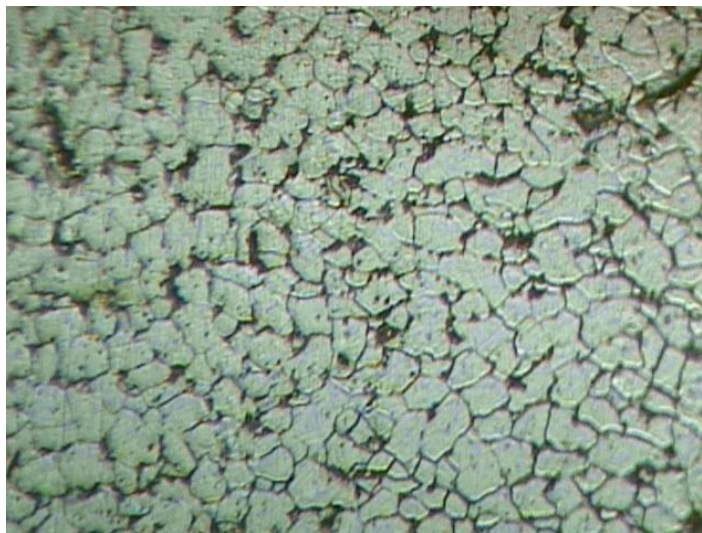
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



ENSAYO METALOGRÁFICO

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	3
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 3.2	
Parte específica:	Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	10/12/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie por:		Pulido mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 4	Tiempo de ataque:	20 seg
RESULTADO: Claridad buena, se puede observar los bordes de grano.			



Metal base 200 X, Nital 4, 20 seg

Microestructura formada: Buena

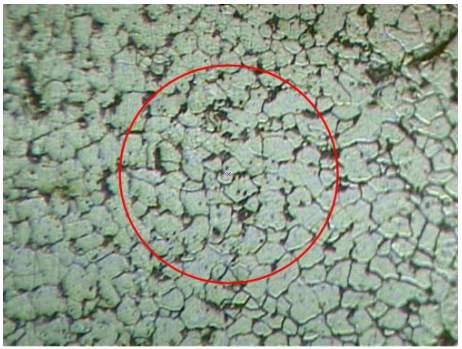
Autor: Egdo. Telenchana José Luis

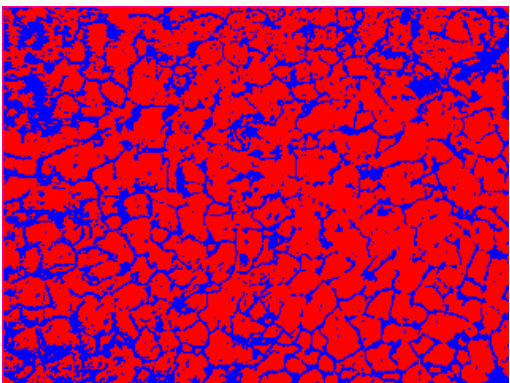
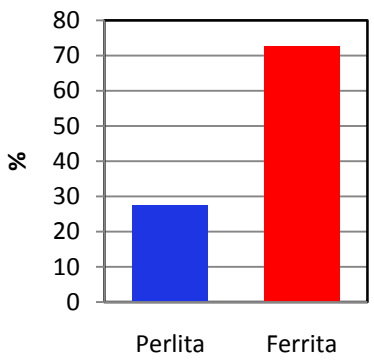


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 200X
$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(60 + \frac{24}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por jeffris (200x)}$ $NA = 8 * 72 = 576$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(576) - 2.954$	
Tamaño de grano:	6,21 \cong 6

Componentes: Ferrita, Perlita							
Componentes microestructurales:	Porcentajes:						
	 <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>27,5</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>72,5</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Porcentaje (%)	Perlita	27,5	Ferrita	72,5
Componente	Porcentaje (%)						
Perlita	27,5						
Ferrita	72,5						

Resistencia a la tracción aproximada: (RTA)

Cálculo:

$$R.T.A = \frac{28 * \%Ferrita + 84 * \%Perlita}{100} = \frac{28 * 72,5 + 84 * 27,5}{100}$$

R.T.A: 43,4 Kg/mm² = 425,32 MPa.

La microestructura estudiada está compuesta por un 72,5 % de Ferrita y 27,5 % de Perlita, presentando un tamaño de 6. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 425,32 MPa. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada en mayor grado, puesto que la resistencia a la tracción del material base A36 está entre 400 ≤ RT ≤ 550 MPa. (Anexo A.2).

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO METALOGRAFICO

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	3
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 3.2
Parte específica:	Cordón de soldadura		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	10/12/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

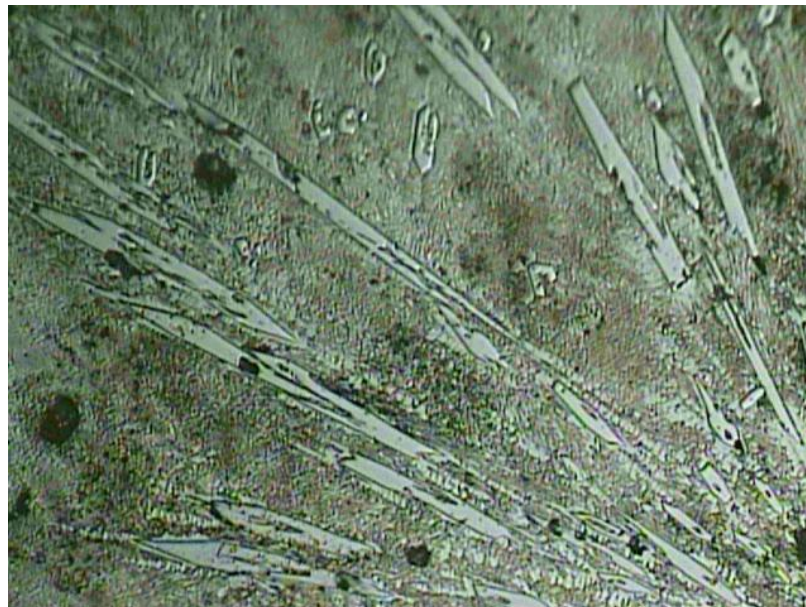
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie por:	Pulido mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2	Tiempo de ataque:	3 min

RESULTADO: Calidad baja, No se puede observar claramente los bordes de grano



Cordón de soldadura 100 X, Nital 2, 3 min

Microestructura formada: Buena

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 100X

$$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(5 + \frac{6}{2} \right)$$

$$f = 2 \text{ por jeffris (100x)}$$

$$NA = 2 * 8 = 16$$

$$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$$

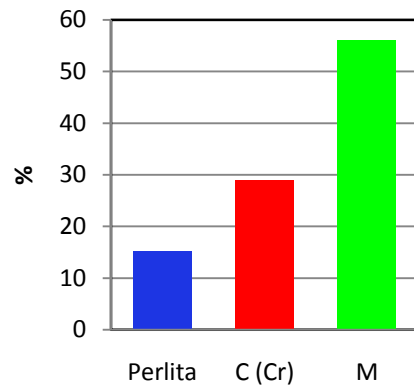
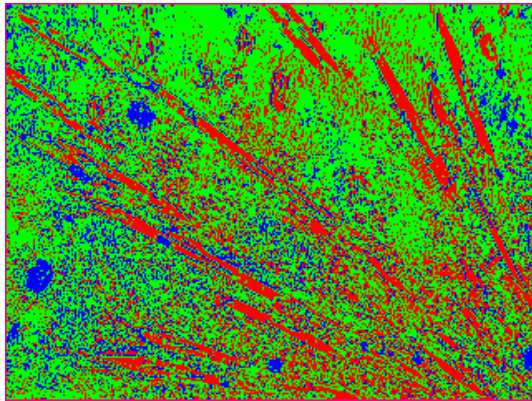
$$G = 3.321918 * \log(16) - 2.954$$



Tamaño de grano:	1,04 \cong 1
-------------------------	----------------

Componentes: Perlita, Carburos de Cromo (C (Cr)), Martensita (M)

Componentes microestructurales:	Porcentajes:
--	---------------------



Interpretación de resultados:

La microestructura estudiada está compuesta por un 56 % de Martensita (M), 28,9 % de Carburos de Cromo en una matriz Austenítica y 15,1 % de perlita, presentando un tamaño de grano de 1. Estos componentes dan lugar a un cordón de soldadura de características mecánicas muy elevadas, pues el alto contenido de Martensita y carburos de cromo los cuales aumentan significativamente la dureza de la junta soldada, pero por lo contrario reduce la tenacidad, presentándose un cordón de soldadura aceptable.

Microestructura formada: Buena

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO METALOGRAFICO

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	3
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 3.2
Parte específica:	Zona afectada por el calor		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	10/12/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

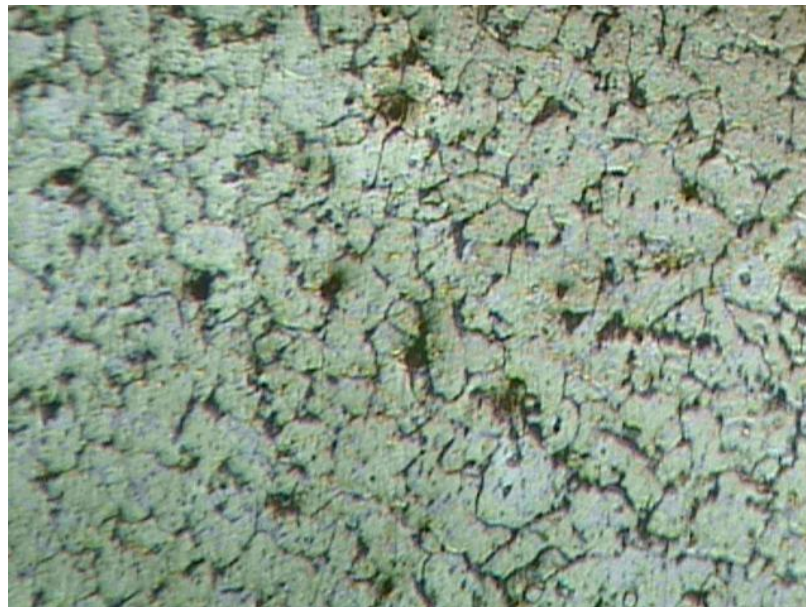
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie por:	Pulido mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 4	Tiempo de ataque:	20 seg

RESULTADO: Calidad baja, No se puede observar claramente los bordes de grano



Zona afectada por el calor 200 X, Nital 4, 20 seg

Microestructura formada: Buena

Autor: Egdo. Telenchana José Luis




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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

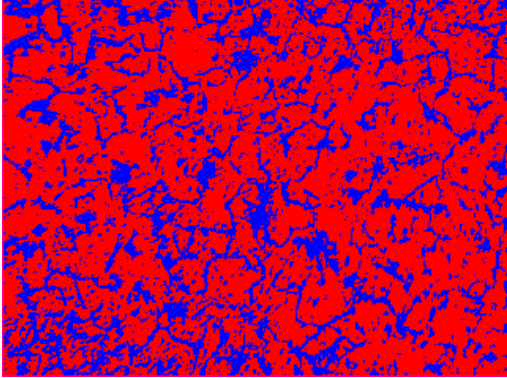
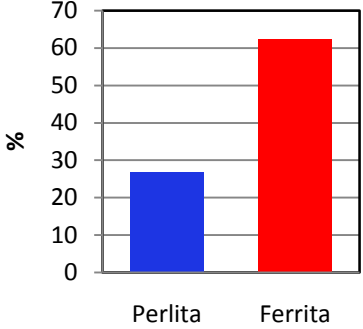
Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 200X

$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(24 + \frac{22}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por jeffris (200x)}$ $NA = 8 * 35 = \mathbf{280}$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(280) - 2.954$	
---	--

Tamaño de grano:	5,17 \cong 5
-------------------------	----------------

Componentes: Ferrita, Perlita

Componentes microestructurales: **Porcentajes:**

	 <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <caption>Porcentajes de Componentes</caption> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>26,8</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>73,2</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Porcentaje (%)	Perlita	26,8	Ferrita	73,2
Componente	Porcentaje (%)						
Perlita	26,8						
Ferrita	73,2						

Resistencia a la tracción aproximada: (RTA)

Cálculo:



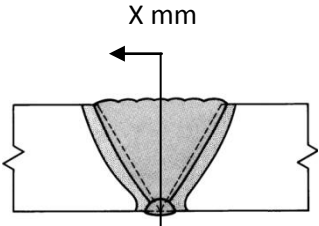
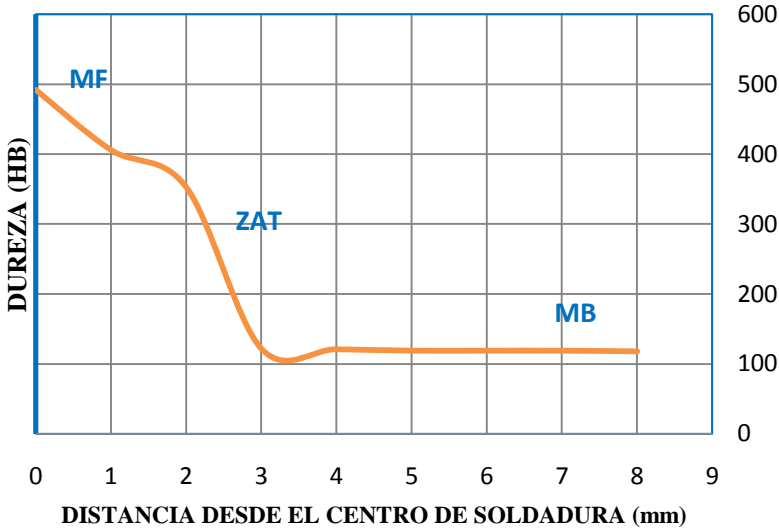
$$R.T.A = \frac{28 * \%Ferrita + 84 * \%Perlita}{100} = \frac{28 * 73,2 + 84 * 26,8}{100}$$

R.T.A: 43,00 Kg/mm² = 421,4 MPa.

La microestructura estudiada está compuesta por un 73,2 % de Ferrita y 26,8 % de Perlita, presentando un tamaño de 5. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 421,4 MPa. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada en mayor grado, puesto que la resistencia a la tracción del material base A36 está entre 400 ≤ RT ≤ 550 MPa (Anexo A.2).

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

4.3.3.3. ENSAYO DE DUREZA DE PROBETAS CON ELECTRODO AGA B85

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.6	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B85 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
Método	Rockwell C/Brinell		
Tipo de penetrador:	Cono de diamante/Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min
RESULTADO:			
	BARRIDO DE DUREZA PROBETA AGA B85 (4.6)		
			
<p>Para la (probeta AGA B85 4.6), el máximo endurecimiento encontrado fue de 492 HB, el mismo que está ubicado en el material de aporte .También se encontró una dureza mínima de 118 HB, en el metal base.</p>			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 4.7		
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B85 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

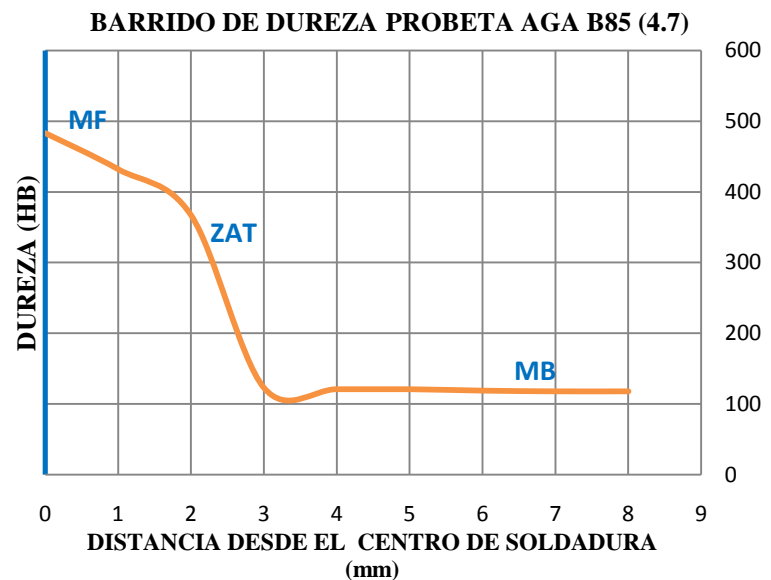
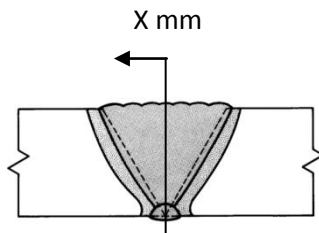
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Rockwell C/Brinell		
Tipo de penetrador:	Cono de diamante/Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



Para la (probeta AGA B85 4.7), el máximo endurecimiento encontrado fue de **483 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte. También se encontró una dureza mínima de **118 HB**, en el metal base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.8	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B85 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

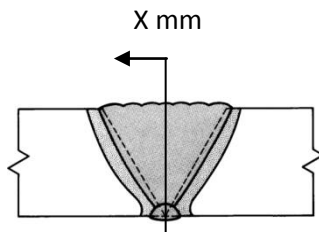
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

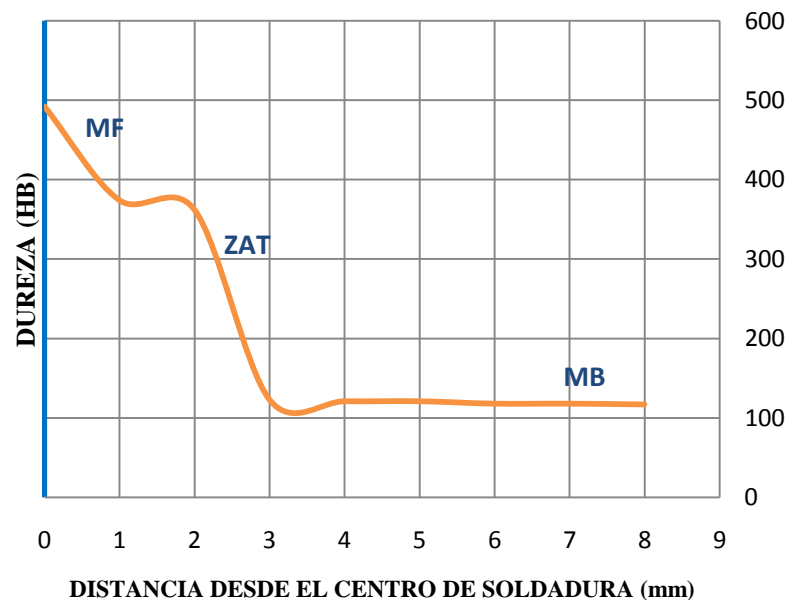
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Rockwell C/Brinell		
Tipo de penetrador:	Cono de diamante/Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA AGA B85 (4.8)



Para la (probeta AGA B85 4.8), el máximo endurecimiento encontrado fue de **492 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte .También se encontró una dureza mínima de **117 HB**, en el material base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.9	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B85 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

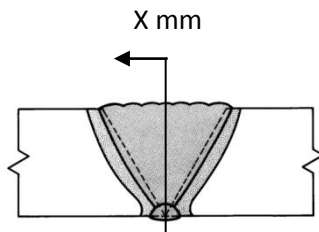
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

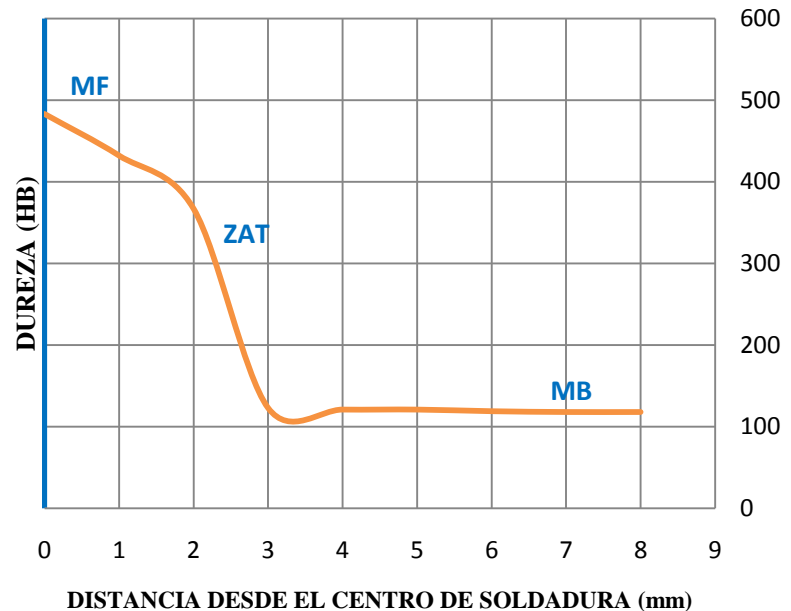
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Rockwell C/Brinell		
Tipo de penetrador:	Cono de diamante/Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA AGA B85 (4.9)



Para la (probeta AGA B85 4.9), el máximo endurecimiento encontrado fue de **483 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte. También se encontró una dureza mínima de **118 HB**, en el metal base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.10	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte AGA B85 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

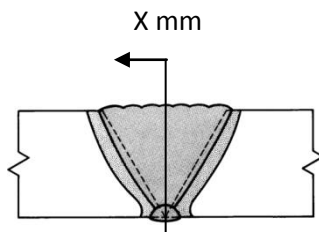
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

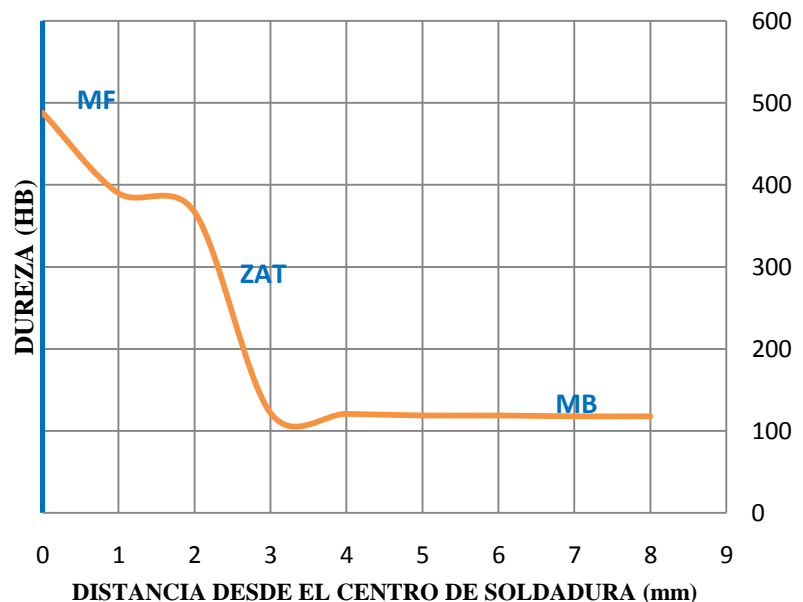
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método		Rockwell C/Brinell	
Tipo de penetrador:		Cono de diamante/Identador: 2.5 mm	
Cantidad de carga aplicada	1471 N / 1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA AGA B85 (4.10)



Para la (probeta AGA B85 4.10), el máximo endurecimiento encontrado fue de **488 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte .También se encontró una dureza mínima de **118 HB**, en el material base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

4.3.4. ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETAS CON ELECTRODO E-7018



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.11	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	03/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	1/2"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	AWS - E7018		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de 1/2" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (E-7018). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	03/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	22620 Kgf	Carga de ruptura:	21910 Kgf
RESULTADO:			
GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">PROBETA 1.11 SOLDADA CON ELECTRODO E-7018</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ε):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \qquad \epsilon = \frac{241 - 200}{200} * 100 \qquad \epsilon = 20,5 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \qquad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 324}{483,87} * 100 \qquad \% \text{ reducción} = 33,04\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (Sut):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}^{[22]}}{A_o} \qquad S_{ut} = \frac{22620}{483,87} = 46,748 \frac{Kgf}{mm^2} \qquad S_{ut} = 458,13 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 28 Kgf/mm^2 = 274,4 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\frac{\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - K\bar{X}^2} \right)^{[19]} \qquad E = 202.05 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.12	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	03/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	1/2"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	E - 7018		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de 1/2" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (E-7018). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	03/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	21556 Kg	Carga de ruptura:	21240 Kg
RESULTADO:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN</p> <p>PROBETA 1.12 SOLDADA CON ELECTRODO E-7018</p>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \quad \epsilon = \frac{262 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 31 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \quad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 200}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 58,66\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}^{[22]}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{21556}{483,87} = 44,549 \frac{Kg}{mm^2} \quad S_{ut} = 436,58 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 27,8 Kgf/mm^2 = 272,44 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \quad E = 200,64 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.13	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	04/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	1/2"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	E - 7018		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de 1/2" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (E-7018). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	04/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	22732 Kgf	Carga de ruptura:	22270 Kgf
RESULTADO:			
GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN			
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">PROBETA 1.13 SOLDADA CON ELECTRODO E-7018</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \quad \epsilon = \frac{261 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 30,5 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \quad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 175,5}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 63,73\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{22732}{483,87} = 46,979 \frac{Kgf}{mm^2} \quad S_{ut} = 460,39 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 25 Kgf/mm^2 = 245 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \quad E = 206,7 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.14	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	04/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	1/2"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	E - 7018		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO



OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de 1/2" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (E - 7018). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	04/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	21620 Kgf	Carga de ruptura:	20910 Kgf
RESULTADO:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>PROBETA 1.14 SOLDADA CON ELECTRODO E-7018</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \quad \epsilon = \frac{263 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 31,5 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \quad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 195,4}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 59,61\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}^{[22]}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{21620}{483,87} = 44,681 \frac{Kgf}{mm^2} \quad S_{ut} = 437,87 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 28 Kgf/mm^2 = 274,4 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \quad E = 200,71 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO A TRACCIÓN

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 1

Probeta N°:	1.15	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Lugar de realización:	Laboratorio de materiales - FICM			Fecha de ejecución:	04/10/2012
Temperatura ambiente del lugar	22°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR

Especificación del material	Acero estructural	Tipo o grado:	ASTM - A36
Largo:	18"		
Espesor:	1/2"		
Proceso de soldadura:	SMAW		
Tipo:	Manual		
Material de aporte en acabado:	E - 7018		

DETALLE REFERENCIAL DEL ESPÉCIMEN ENSAYADO





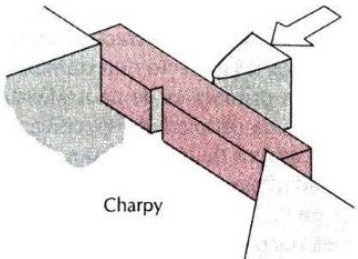

OBSERVACIONES:

Junta soldada a tope con ranura en V, posición 1G de acero A36 de 1/2" con un pase de raíz con electrodo (E - 6011), un pase en caliente, un pase de relleno con electrodo (E-7018) y un pase de acabado con electrodo (E - 7018). Maquinado en fresadora.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

EVALUACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Realizado bajo la norma:		AWS B4.0:2007, ASTM E8-03	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de ensayo de materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)	
Fecha de ejecución:	04/10/2012	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
Método:		Deformación controlada	
Carga máxima:	20626 Kgf	Carga de ruptura:	20188 Kgf
RESULTADO:			
<p>GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>PROBETA 1.15 SOLDADA CON ELECTRODO E-7018</p> </div>			
Cálculo del porcentaje de alargamiento (ϵ):			
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[17]} \quad \epsilon = \frac{265 - 200}{200} * 100 \quad \epsilon = 32,5 \%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 131)			
Cálculo del porcentaje de reducción de área (%):			
$\% \text{ reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[17]} \quad \% \text{ reducción} = \frac{483,87 - 181}{483,87} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 62,6\%$			
[17] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3ra Edición). Thomson. México. (pág. 137)			
Cálculo de la resistencia última a la tracción (S_{ut}):			
$S_{ut} = \frac{P_{max}^{[22]}}{A_o} \quad S_{ut} = \frac{20626}{483,87} = 42,627 \frac{Kgf}{mm^2} \quad S_{ut} = 417,74 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 28)			
$S_{y_{\epsilon=0,2\%}}^{[22]} = 27,5 Kgf/mm^2 = 269,5 MPa$			
[22] SHIGLEY. (2008). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (pág. 29)			
$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right)^{[19]} \quad E = 205,32 GPa$			
[19] ASTM E 111-97. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. (pág. 5)			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			

4.3.4.1 ENSAYO DE IMPACTO DE PROBETAS CON ELECTRODO E-7018.


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO DE FRACTURA						
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS						
ENSAYO 2 (Probetas: 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15)						
Realizado bajo la norma:			AWS B4.0:2007, ASTM E23 - 01			
Autorizado por:		Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:		Egdo. Telenchana José Luis	
Lugar de realización:		Laboratorio de materiales - FICM	Fecha de ejecución:		07/11/2012	
Instrumento:			Máquina de ensayo Charpy			
Temperatura ambiente del lugar		20°C	Flujo de aire del medio:		Estático	
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN A ENSAYAR						
Especificación del material		Acero estructural	Tipo o grado:		ASTM - A36	
Proceso de soldadura:			SMAW			
Tipo:			Manual			
Material de aporte en acabado:			AWS E-7018			
Dimensiones:			10 X 10 X 55 (mm)			
Tipo de entalla:			Tipo en " V "			
DETALLE REFERENCIAL DE LOS ESPÉCIMENES ENSAYADOS						
 <p>Charpy</p>			DESPUES DEL ENSAYO 			
REGISTRO DE DATOS OBTENIDOS:						
# Probeta	Ubicación de entalla	Área de sección transversal (mm ²)	Energía absorbida Máquina (J)	Ensayo de caída de peso		
				Rota	Separada	No Rota
1	Cordón	99,5	125	Si		
2	Cordón	100	165	Si		
3	Cordón	99,8	160	Si		
4	Cordón	99,8	140	Si		
5	Cordón	100	165	SI		
Autor: Egdo. Telenchana José Luis						

4.3.4.2. ENSAYO METALOGRAFICO DE PROBETAS CON ELECTRODO E-7018



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



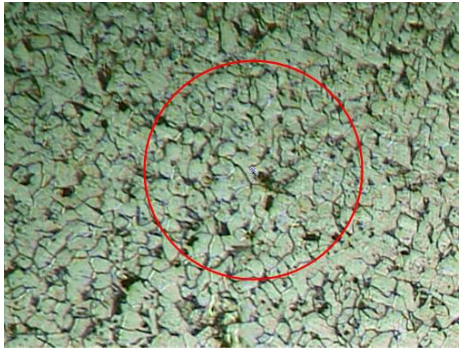
ENSAYO METALOGRAFICO			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	3
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 3.3	
Parte específica:		Material base	
Solicitado por:		UTA – FICM	Fecha: 10/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA	
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie por:		Pulido mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 2	Tiempo de ataque:	20 seg
RESULTADO: Alta calidad, se observan claramente los bordes de grano.			
			
Metal base 200 X, Nital 2, 20 seg			
Microestructura formada: Buena			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			

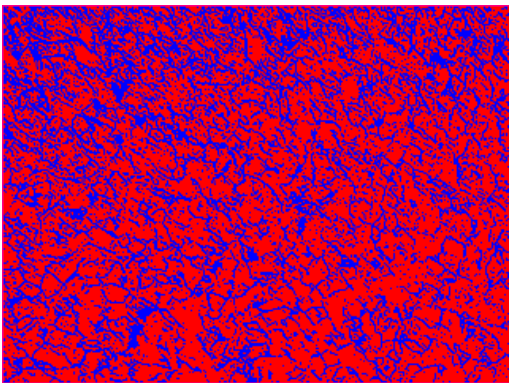
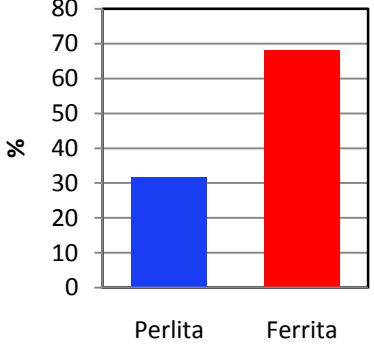


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 200X
$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(75 + \frac{43}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por jeffris (200x)}$ $NA = 8 * 96.5 = 772$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(772) - 2.954$	
Tamaño de grano:	6,63 \cong 7

Componentes: Ferrita, Perlita							
Componentes microestructurales:	Porcentajes:						
	 <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>31,8</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>68,2</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Porcentaje (%)	Perlita	31,8	Ferrita	68,2
Componente	Porcentaje (%)						
Perlita	31,8						
Ferrita	68,2						

Resistencia a la tracción aproximada: (RTA)
Cálculo:

$$R.T.A = \frac{28 * \%Ferrita + 84 * \%Perlita}{100} = \frac{28 * 68.2 + 84 * 31.8}{100}$$

R.T.A: 45.8Kg/mm² = 448,84 MPa.

La microestructura estudiada está compuesta por un 68,2% de Ferrita y 31,8 % de Perlita, presentando un tamaño de 7. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 448,84 MPa. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada en mayor grado, puesto que la resistencia a la tracción del material base A36 está entre 400 ≤ RT ≤ 550 MPa (Anexo A.2).

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	3
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 3.3	
Parte específica:		Cordón de soldadura	
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	10/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

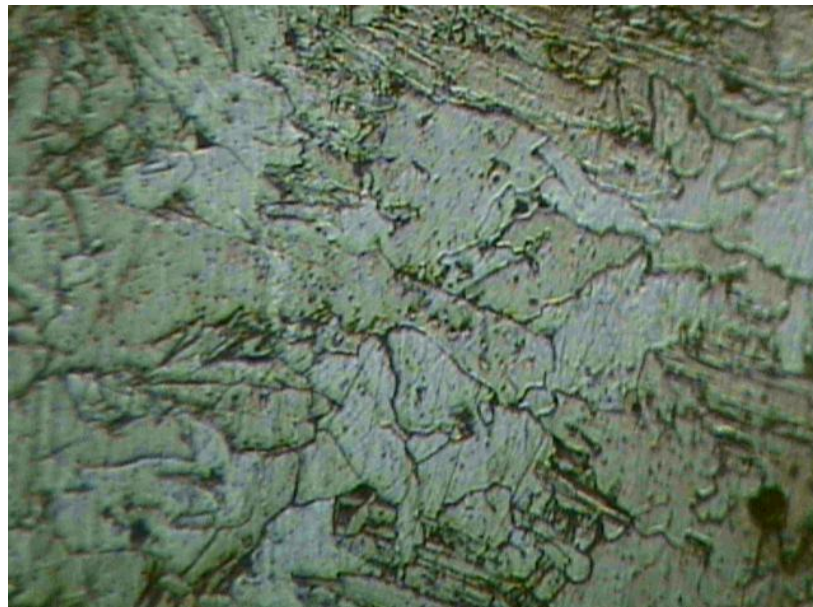
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA	
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie por:		Pulido mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 4	Tiempo de ataque:	8 seg

RESULTADO: Calidad buena, se puede observar claramente los bordes de grano



Cordón de soldadura 200 X, Nital 4, 8 seg

Microestructura formada: Buena

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 200X

$$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(17 + \frac{12}{2} \right)$$

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

$$NA = 8 * 23 = \mathbf{184}$$

$$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$$

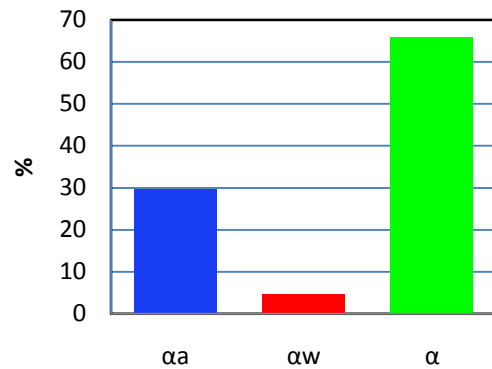
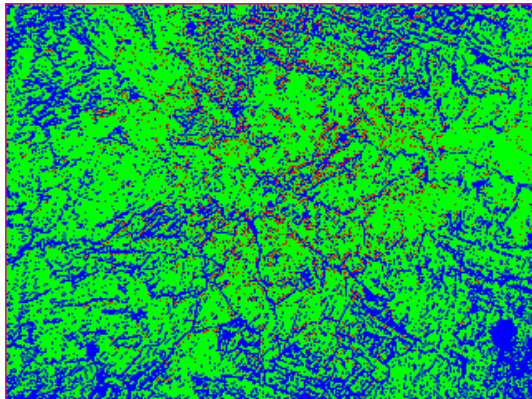
$$G = 3.321918 * \log(184) - 2.954$$



Tamaño de grano: 4,56 \cong **4.6**

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

Componentes microestructurales: **Porcentajes:**



Interpretación de resultados:

La microestructura estudiada está compuesta por un 29,6 % de Ferrita Acicular ($\alpha\alpha$), 4,6 % de Ferrita de Widmanstaetten ($\alpha\omega$) y 65,8 % de Ferrita Alotriomórfica (α), presentando un tamaño de grano de 4,6. Estos componentes dan lugar a un cordón de soldadura de características mecánicas aceptables, pues el alto contenido de Ferrita Alotriomórfica (α), el cual reduce la tenacidad de la junta soldada, está compensado con el porcentaje de Ferrita Acicular ($\alpha\alpha$) la cual mejora significativamente la tenacidad en la junta soldada, presentándose un cordón de soldadura de tenacidad aceptable.

Microestructura formada: Buena

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO METALOGRAFICO

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	3
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 3.3
Parte específica:	Zona afectada por el calor		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	10/12/2012
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Materiales – FICM		
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

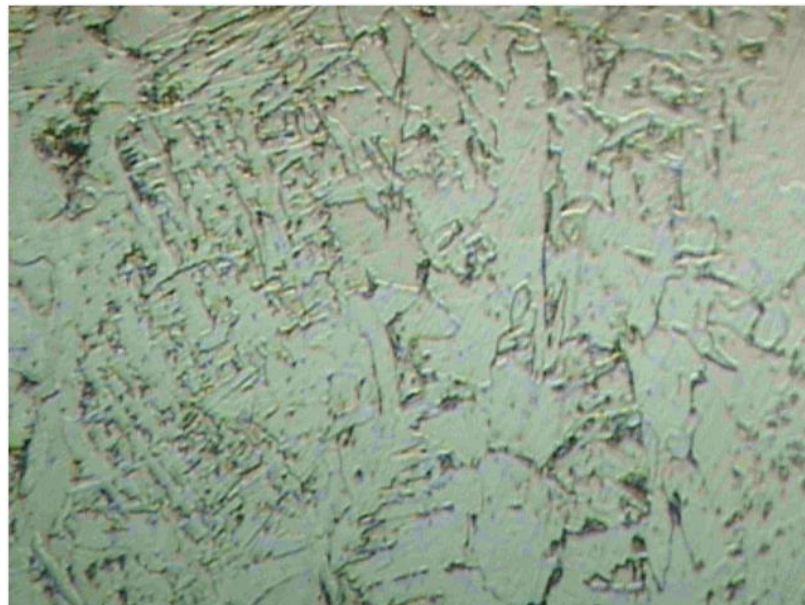
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie por:	Pulido mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie óptima en:	50 min
Ataque químico de la superficie con:	Nital 4	Tiempo de ataque:	8 seg

RESULTADO: Calidad buena, se puede observar claramente los bordes de grano



Zona afectada por el calor 200 X, Nital 4, 8 seg

Microestructura formada: Buena


Autor: Egdo. Telenchana José Luis

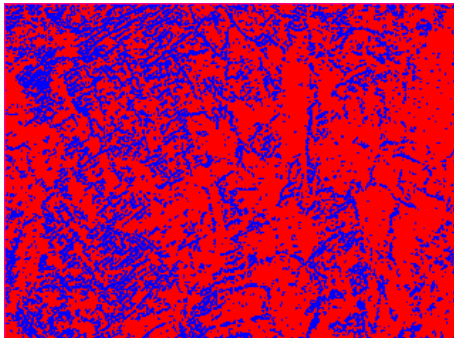
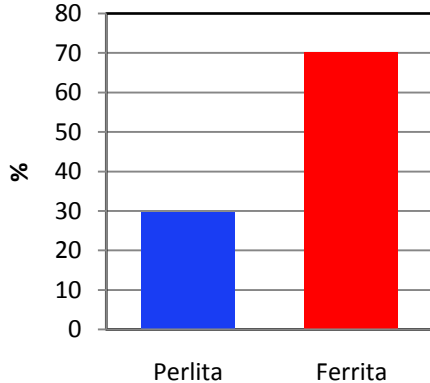


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Determinación del tamaño de grano	Microestructura:
Método : ASTM E 112 Cálculos:	Magnificación: 200X
$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(20 + \frac{17}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por jeffris (200x)}$ $NA = 8 * 28.5 = 228$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(228) - 2.954$	
Tamaño de grano: 4.87 \cong 5	

Componentes: Ferrita, Perlita							
Componentes microestructurales:	Porcentajes:						
	 <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>70</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	Porcentaje (%)	Perlita	30	Ferrita	70
Componente	Porcentaje (%)						
Perlita	30						
Ferrita	70						

Resistencia a la tracción aproximada: (RTA)
Cálculo:



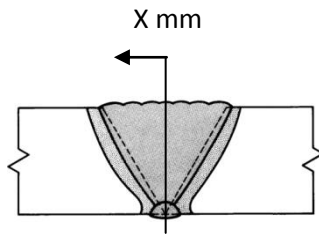
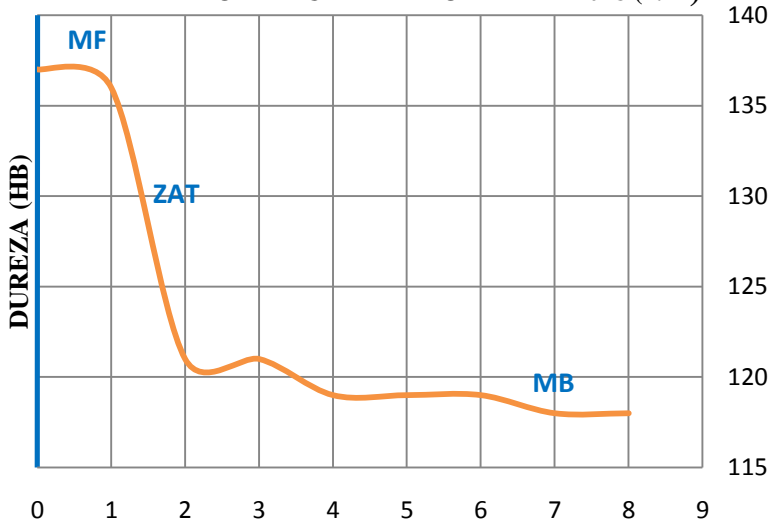
$$R.T.A = \frac{28 * \%Ferrita + 84 * \%Perlita}{100} = \frac{28 * 70.3 + 84 * 29.7}{100}$$

R.T.A: 44,63 Kg/mm² = 437,37 MPa.

La microestructura estudiada está compuesta por un 70,3% de Ferrita y 29,7 % de Perlita, presentando un tamaño de 5. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 437,37 MPa. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada en mayor grado, puesto que la resistencia a la tracción del material base A36 está entre 400 ≤ RT ≤ 550 MPa (Anexo A.2).

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

4.3.4.3 ENSAYO DE DUREZA DE PROBETAS CON ELECTRODO E-7018.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.11	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte E-7018 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
Método		Brinell	
Tipo de penetrador:		Identador: 2.5 mm	
Cantidad de carga aplicada	1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min
RESULTADO:			
	BARRIDO DE DUREZA PROBETA E -7018 (4.11)		
			
<p>Para la (probeta E-7018 4.11), el máximo endurecimiento encontrado fue de 137 HB, el mismo que está ubicado en el material de aporte .También se encontró una dureza mínima de 118 HB, en el material base.</p>			
Autor: Egdo. Telenchana José Luis			



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.12	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte E-7018 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

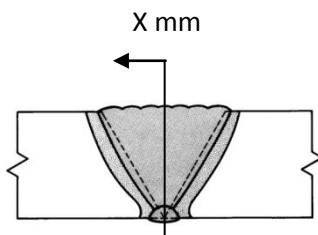
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

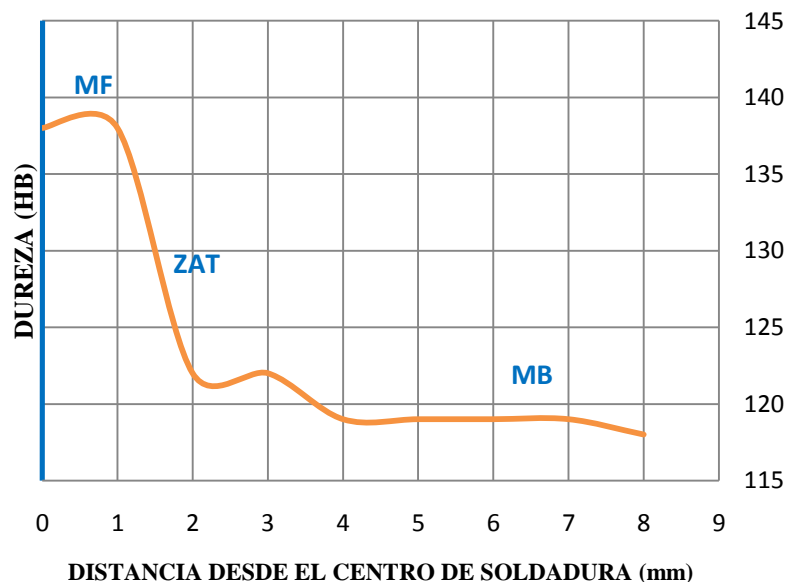
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA E-7018 (4.12)



Para la (probeta E-7018 4.12), el máximo endurecimiento encontrado fue de **138 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte. También se encontró una dureza mínima de **118 HB**, en el material base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:			Probeta N° 4.13
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte E-7018 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

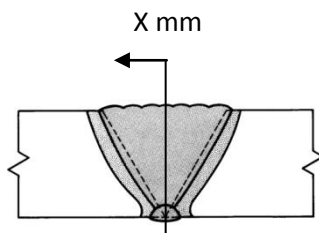
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

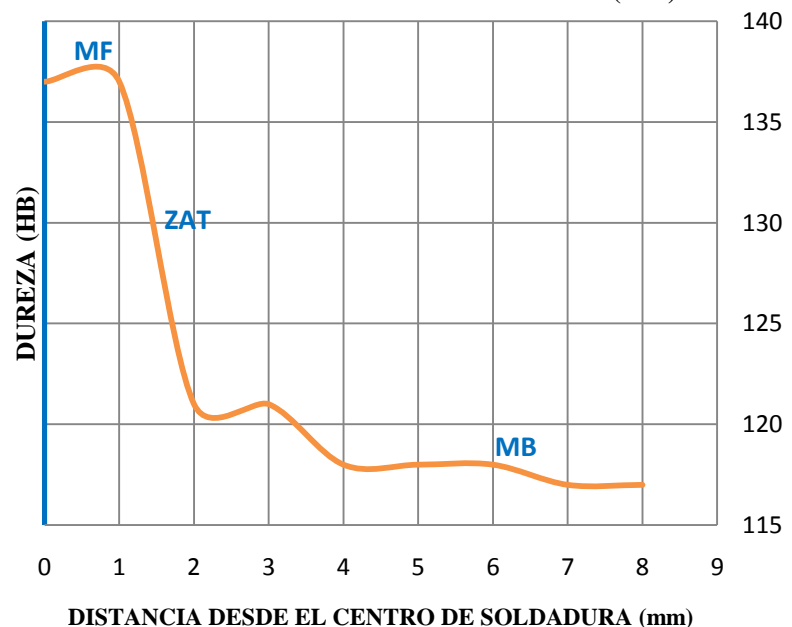
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA E -7018 (4.13)



Para la (probeta E-7018 4.13), el máximo endurecimiento encontrado fue de **137 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte .También se encontró una dureza mínima de **117 HB**, en el material base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.14	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte E-7018 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

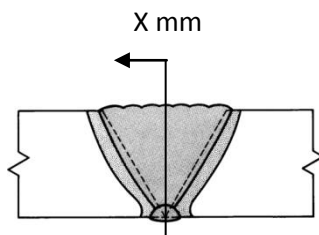
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

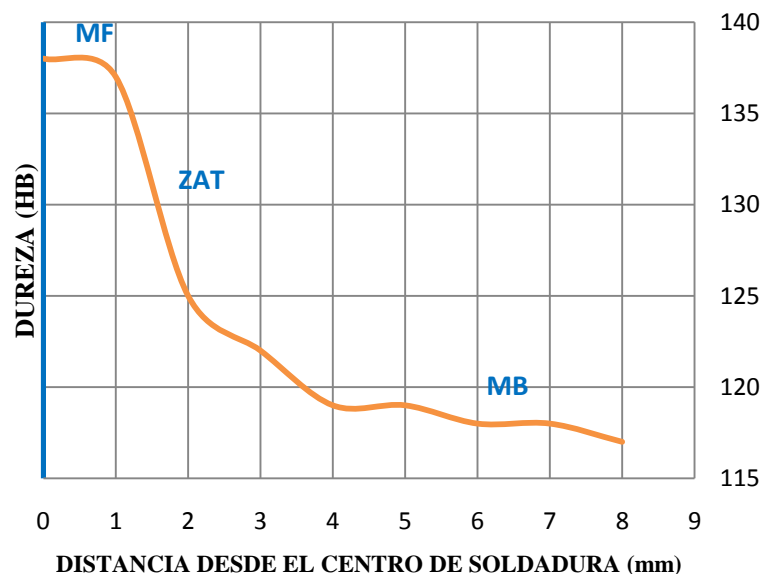
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



BARRIDO DE DUREZA PROBETA E-7018 (4.14)



Para la (probeta E-7018 4.14), el máximo endurecimiento encontrado fue de **138 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte. También se encontró una dureza mínima **117 HB**, en el material base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis



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



ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	4
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 4.15	
Parte específica:	Cordón de soldadura material de aporte E-7018 y Material base		
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	17/12/2012
Centro de estudios y análisis:		Laboratorio de Materiales – FICM	
Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis	Supervisado por:	Ayudante de laboratorio

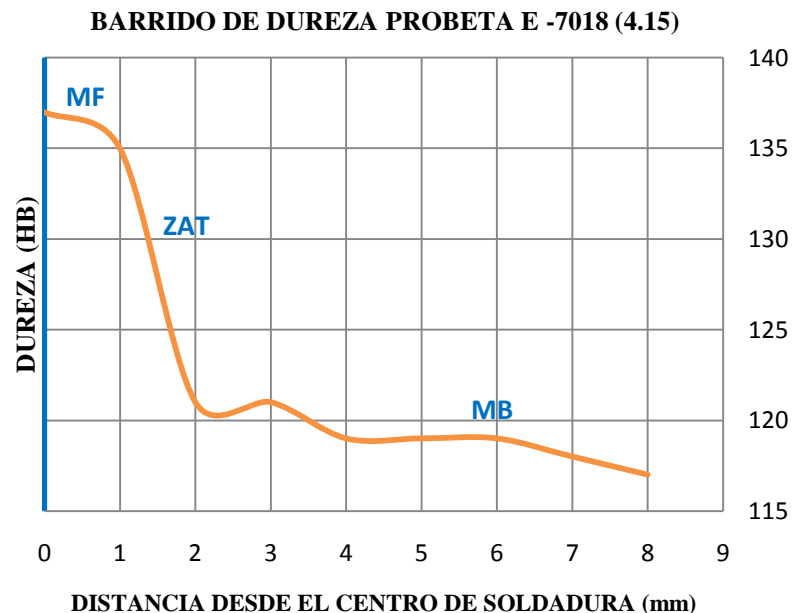
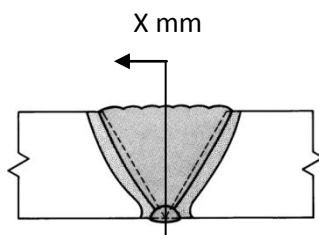
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario – UTA		
Temperatura ambiente:	20°C	Iluminación:	Buena
Flujo de aire del medio:	Estático	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

Método	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador: 2.5 mm		
Cantidad de carga aplicada	1839 N	Tiempo de ensayo:	20 min

RESULTADO:



Para la (probeta E-7018 4.15), el máximo endurecimiento encontrado fue de **137 HB**, el mismo que está ubicado en el material de aporte .También se encontró una dureza mínima de **117 HB**, en el material base.

Autor: Egdo. Telenchana José Luis

4.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Para la interpretación de resultados se revisarán todos los datos obtenidos en los ensayos mecánicos realizados en juntas soldadas de acero al carbono A36 de ½” de espesor, para comprobar las diferencias que existen entre los electrodos sometidos a análisis.

4.4.1. Ensayo de tracción de las probetas.

En el ensayo de tracción el objetivo que se persigue es determinar la resistencia máxima a tracción axial, límite de fluencia, módulo elástico y porcentaje de elongación. Donde las características del acero estructural A36 son de referencia, ya que los criterios de aceptación para este ensayo se lo considero conforme a la Norma AWS D1.1 en Español. (2002). código de soldaduras en estructuras de acero. pág. 137. El cual dice:

“El esfuerzo de tensión (carga límite de rotura) no deberá ser menor que el mínimo del rango de tensión especificado del metal base utilizado”.

Cada probeta fue ensayada tal como se soldó y se maquinó, sin ningún tipo de tratamiento térmico, a temperatura ambiente y en la Máquina universal Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)

El procedimiento se lo desarrollo en conformidad con lo especificado en la norma AWS B4.0:2007 (Métodos estandarizados para ensayos mecánicos de soldadura) y ASTM E8-03 (Métodos estandarizados para ensayo de tracción de materiales metálicos).

Se comenzó tomando las dimensiones iniciales como espesor, ancho y longitud.

Las probetas fueron deformadas a una velocidad normal de desplazamiento del cabezal de la máquina universal.

El alargamiento se midió por medio de un deformímetro hasta el punto de su fractura.

Los valores de esfuerzos de tracción, obtenidos en los ensayos, se indican en las tablas siguientes:

Tabla 4.2.1. Valores del ensayo a tracción con electrodo AGA B84.

Electrodo AGA B84	ϵ	Red. Área	Sut	Sy	E
	(%)	(%)	(MPa)	(MPa)	(GPa)
1.1	16.5	22.39	424.87	254.8	199.42
1.2	14	20.01	403.42	240.1	206.02
1.3	14	21.67	375,71	243.04	203.37
1.4	15	20.43	418.85	243.04	201.47
1.5	14.5	21.77	395.01	235.2	205.07
Promedio	14.8	21,25	403.57	243.23	203.07

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Tabla 4.2.2. Valores del ensayo a tracción con electrodo AGA B85.

Electrodo AGA B85	ϵ	Red. Área	Sut	Sy	E
	(%)	(%)	(MPa)	(MPa)	(GPa)
1.6	4.25	13.61	373.46	254.8	206,67
1.7	7.5	14.74	373.71	262.64	208,21
1.8	6	16.13	363.37	254.8	201,92
1.9	5	15	359.46	252.84	203.22
1.10	4.5	14.5	361.31	254.8	204.12
Promedio	5.45	14.79	366.26	255.97	204.82

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Tabla 4.2.3. Valores del ensayo a tracción con electrodo E-7018.

Electrodo AGA E-7018	ϵ	Red. Área	Sut	Sy	E
	(%)	(%)	(MPa)	(MPa)	(GPa)
1.11	20.5	33.04	458.13	274.4	202,05
1.12	31	58.66	436.58	272.44	200,64
1.13	30.5	63.73	460.39	245	206,7
1.14	31.5	59.61	437.87	269,5	200.71
1.15	32,5	62.6	417.74	274.4	205.32
Promedio	29.2	55.53	442.14	267.14	203.084

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Los resultados obtenidos de las probetas con electrodos AGA B84 y AGA B85, se los compara con los resultados de las probetas con electrodo E-7018, este será la referencia de comparación.

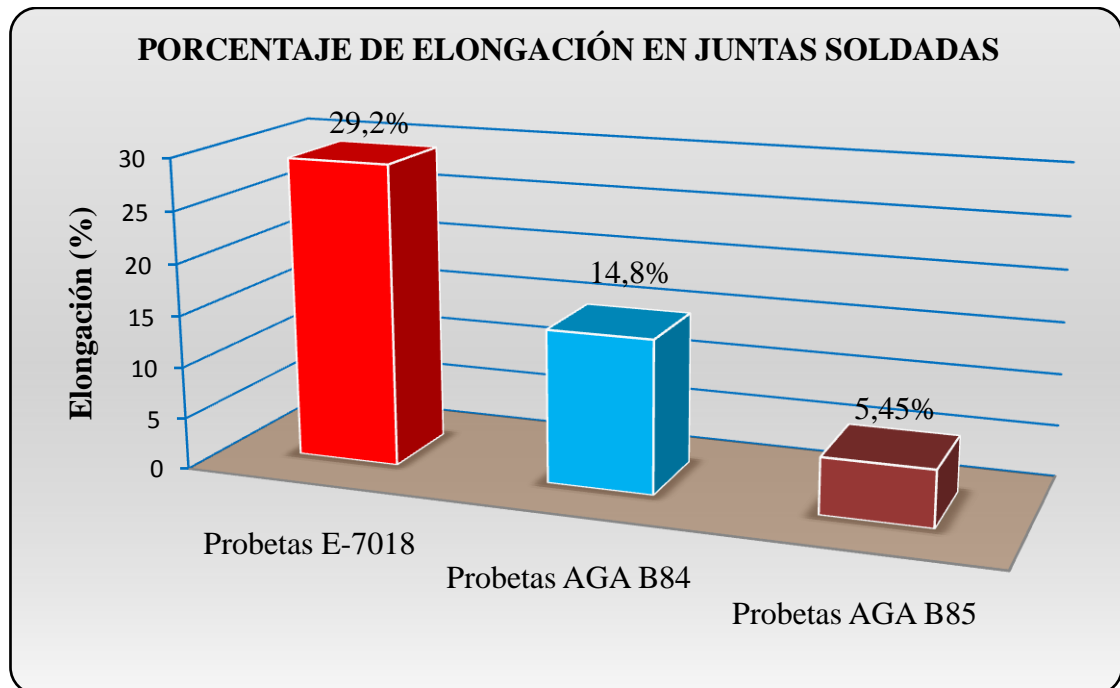


Figura 4.3a Valores promedio comparativos de porcentaje de Elongación con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la figura 4.3a se puede observar el porcentaje de elongación (ϵ) de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene un valor promedio de 14,8% correspondiente al electrodo AGA B84, el mismo que presenta una disminución muy significativa con respecto al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 29,2%, además presenta su mínimo valor promedio que es de 5,45% correspondiente al electrodo AGA B85.

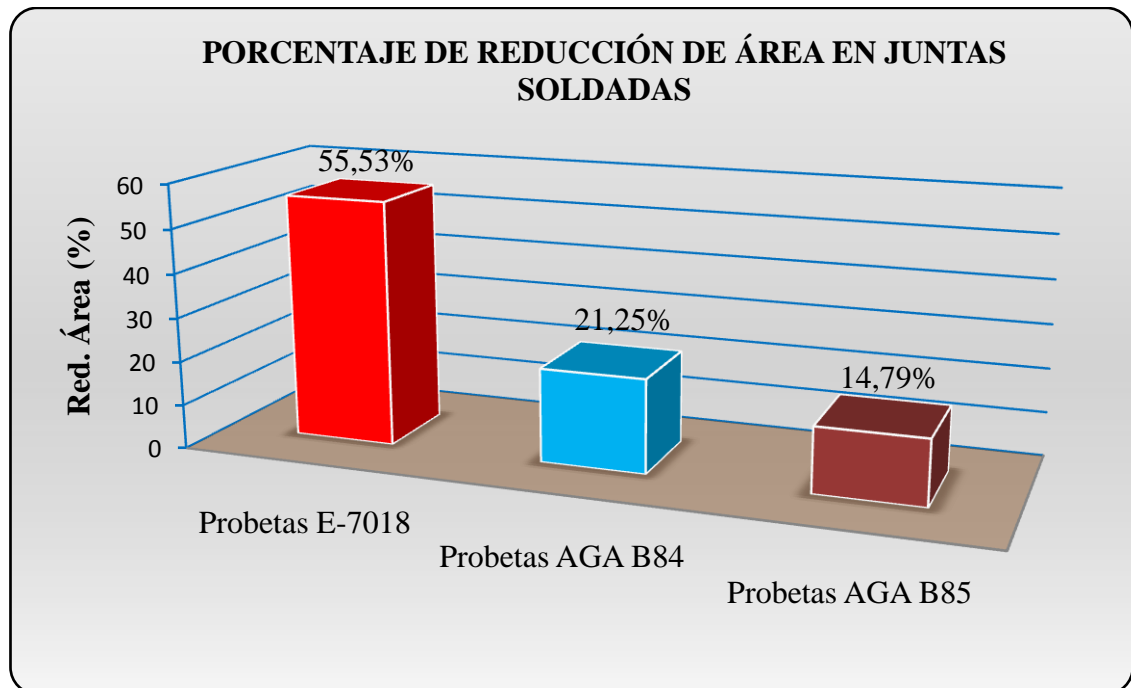


Figura 4.3b. Valores promedios comparativos de porcentaje de Reducción de Área con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.3b se puede observar el porcentaje de reducción de área de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene un valor promedio de 21,25% correspondiente al electrodo AGA B84, el mismo que presenta una disminución muy significativa con respecto al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 55,53%, además presenta su mínimo valor promedio que es de 14,79% correspondiente al electrodo AGA B85.

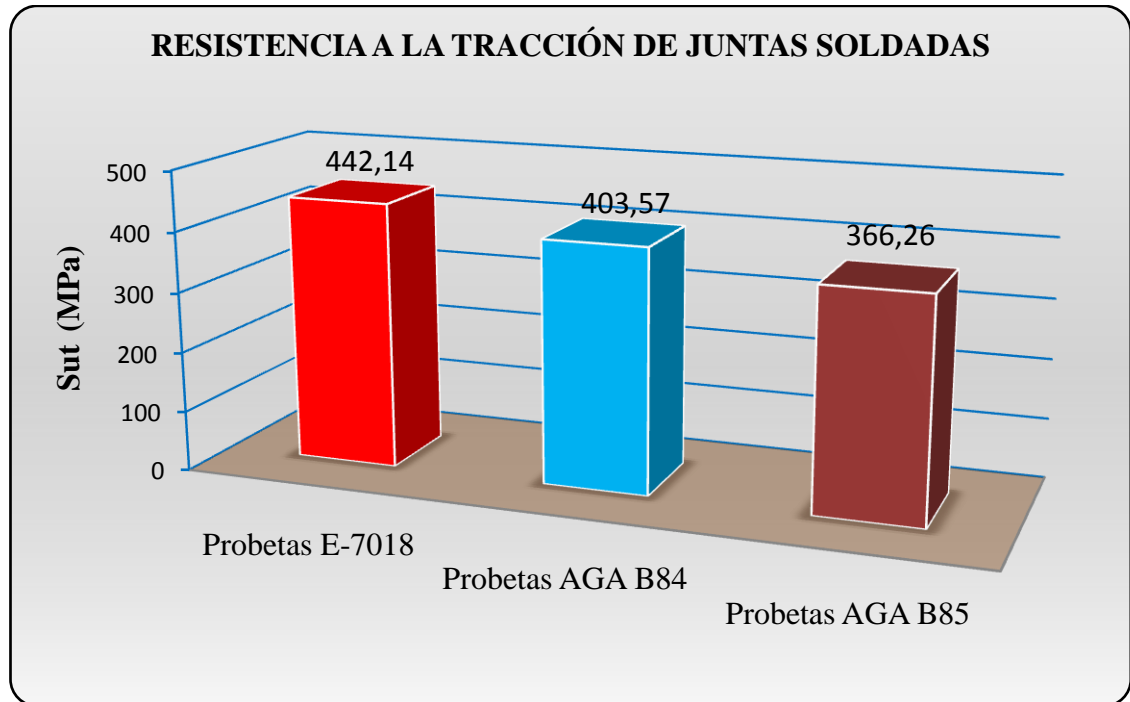


Figura 4.3c Valores promedios comparativos de Resistencia a la tracción con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.3c se puede observar la resistencia a la tracción (**Sut**) de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Se puede observar valores promedios de 403,57 MPa y 366,26 MPa correspondiente a los electrodos AGA B84 y AGA B85 respectivamente, los mismos que presentan una disminución muy significativa con respecto al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 442,14 MPa.

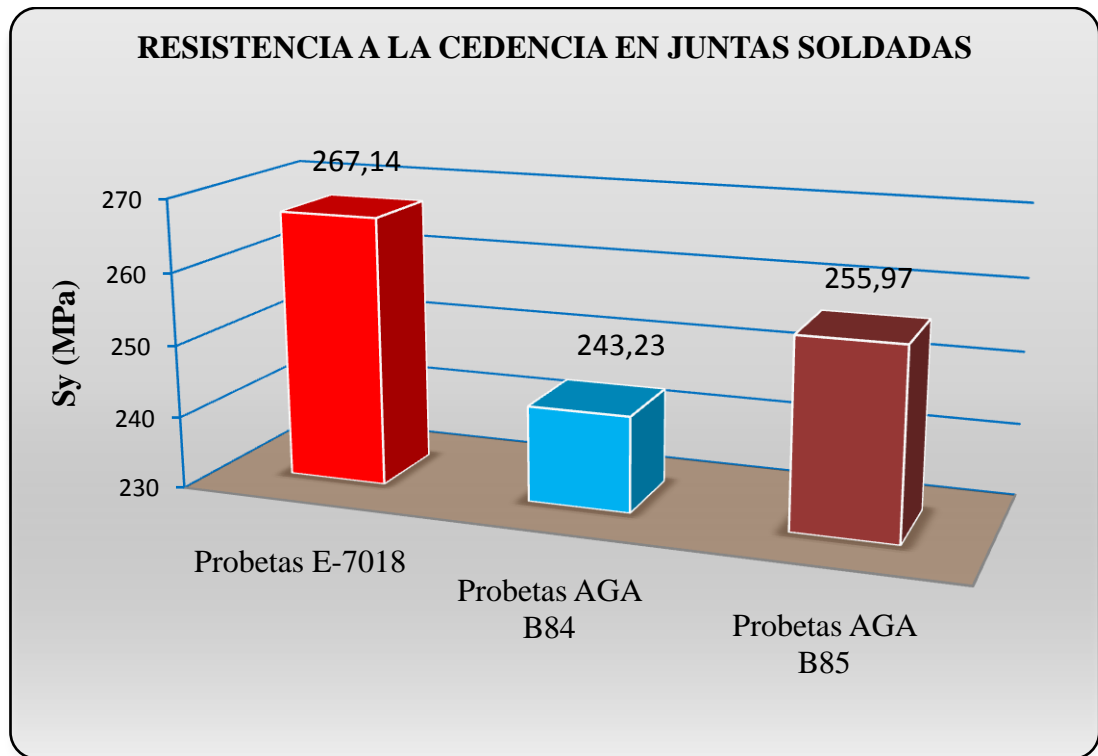


Figura 4.3d Valores promedios comparativos de Resistencia a la cedencia con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.3d se puede observar la resistencia a la cedencia (**Sy**) de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene un valor promedio de 255,97 MPa correspondiente al electrodo AGA B85, el mismo que presenta una disminución con respecto al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 267,14 MPa, además presenta su mínimo valor promedio que es de 243,23 MPa correspondiente al electrodo AGA B84.

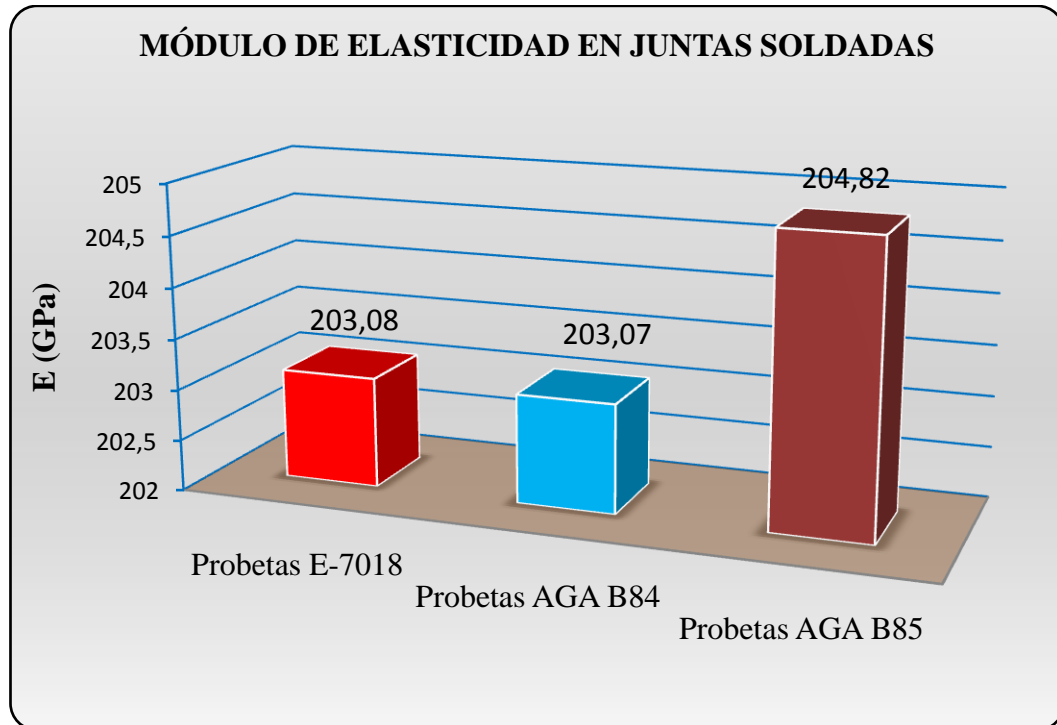


Figura 4.3e. Valores comparativos de Módulo de Elasticidad con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.3e se puede observar el módulo de elasticidad (**E**) de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Se puede observar valores promedios de 203,07 GPa y 204,82 GPa correspondiente a los electrodos AGA B84 y AGA B85 respectivamente, los mismos que presenta una diferencia no muy significativa con respecto al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 203,08 GPa. Como se puede observar en la figura 4.3e el módulo de elasticidad no varía en mayor cantidad.

Como información adicional se puede decir que: debido a la fuerza de tracción, las probetas ensayadas se rompen en la zona cercana al cordón de soldadura, la misma que se encuentra dentro de la zona de calibración.

4.4.2. Ensayo de impacto de las probetas.

La tenacidad de una material es la capacidad para absorber energía durante la deformación plástica, capacidad para soportar esfuerzos ocasionales superiores al esfuerzo de fluencia, sin que se produzca la fractura.

Para el ensayo se obtuvieron probetas maquinadas tipo Charpy con muesca en V según lo requiere la norma AWS B4.0:2007 (Anexo F3).

Antes de realizar el ensayo, se verificó la geometría de las probetas a ensayar y su respectivo entalle.

La ejecución de este ensayo fue realizado a temperatura ambiente la cual fue de 20°C. Se utilizó una máquina de péndulo tipo Charpy, el método fue realizado conforme a la norma ASTM E23-01.

El golpe del péndulo se efectuó detrás de la muesca en V y su energía absorbida en (Joules) fue tomada del reloj marcador que obtiene dicha máquina.

Tabla 4.2.4. Valores de ensayo Charpy.

Material de Aporte	# Probetas	Energía Absorbida (J)
<i>AGA B84</i>	1	55
	2	60
	3	180
	4	80
	5	80
<i>AGA B85</i>	6	54
	7	50
	8	80
	9	63
	10	44
<i>E - 7018</i>	11	125
	12	165
	13	160
	14	140
	15	165

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Para la evolución de las mediciones obtenidas se tomo como referencia lo descrito por la “Norma AWS D1.1 en español. (2002). Código de soldaduras en estructuras de acero. pág. 270. Enunciado III4.3.” la cual dice: “Si se escoge la Opción B los especímenes con los valores más altos y más bajos deberán descartarse, dejando 3 especímenes para la evaluación.”

Como referencia se tomo el valor de resistencia al impacto del electrodo E-7018, el cual posee un valor de (70 – 90 Joules a -29°C) (Anexo C.1).

En la siguiente tabla se procedió a obtener el promedio de las lecturas obtenidas del ensayo de Charpy del electrodo AGA B84, AGA B85 y E-7018. Para lo cual se descartó las lecturas máxima y mínima de las cinco ensayadas para luego sacar un promedio entre las tres sobrantes.

Tabla 4.2.5 Valores promedio de ensayo Charpy.

Material de Aporte	# Probetas	Energía Absorbida (J)
AGA B84	Descartado	73,33
	2	
	Descartado	
	4	
	5	
AGA B85	6	55,67
	7	
	Descartado	
	9	
	Descartado	
E - 7018	Descartado	155
	12	
	13	
	14	
	Descartado	

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

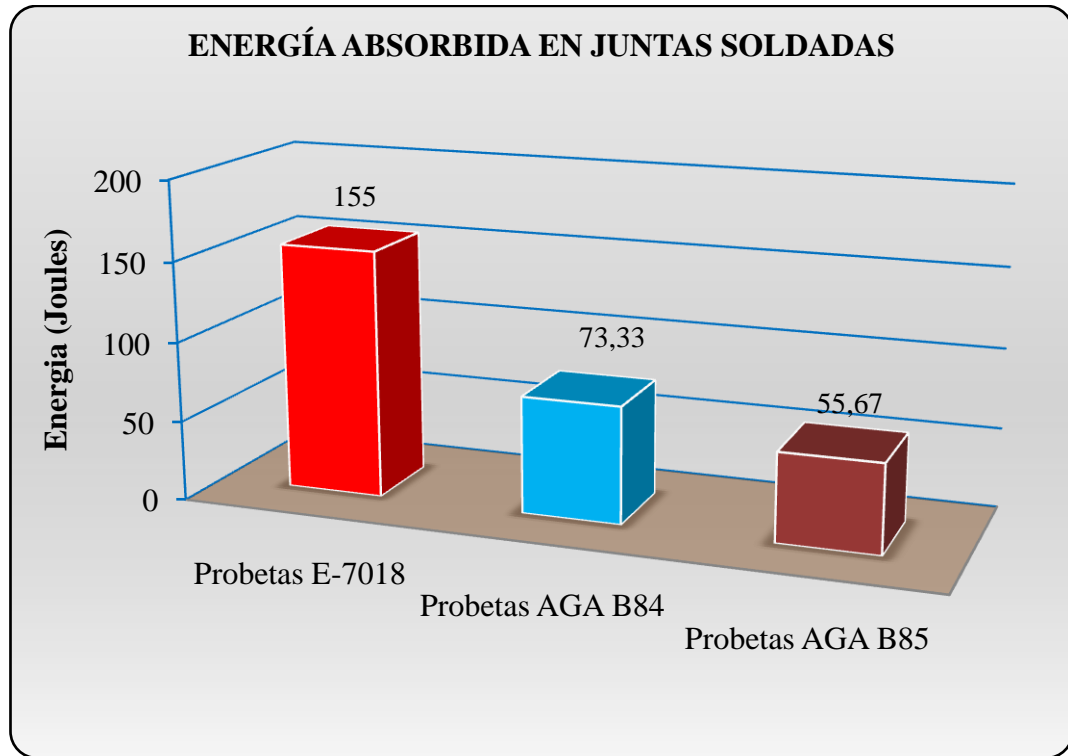


Figura 4.4 Valores promedios comparativos de energía absorbida con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.4 se puede observar la energía absorbida de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tienen valores promedios de 55,67 Joules y 73,3 Joules correspondientes a los electrodos AGA B85 y AGA B84 respectivamente, los mismos que presentan una disminución muy significativa con respecto al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 155 Joules. En la figura 4.4 se puedes apreciar que a mayor dureza disminuye significativamente la resistencia al impacto.

La Figura 4.4 muestra los valores promedios obtenidos de las probetas ensayadas a impacto, el entalle en “V” fue realizado en el cordón de soldadura, por esta razón los resultados de energía registrados disminuyen considerablemente. Por lo que se puede decir que a mayor dureza disminuye su tenacidad.

4.4.3. Ensayo metalográfico de las probetas.

El propósito de este ensayo es analizar si el cordón de soldadura tiene características mecánicas aceptables e identificar sus respectivos componentes micro-estructurales.

Para la realización de este ensayo las probetas deben cumplir los siguientes requerimientos:

- a) No deberá contener grietas.
- b) Debe haber una correcta fusión entre el metal base y el material de aporte.

La preparación de las muestras para la observación micro-estructural se lo hizo siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E 3-95, para lo cual consistió en tres etapas: desbaste, pulido y ataque químico.

Se extrajo muestras del cordón de soldadura, se obtuvieron superficies planas y limpias, para luego realizar el ataque químico con el reactivo acondicionado (Nital 2 o Nital 4).

En este ensayo se evaluaron el tamaño de grano con los requerimientos de norma ASTM E112-96 en las zonas como: metal base (**MB**), zona afectada por el calor (**ZAT**) y material de aporte o metal fundido (**MF**), de dichos electrodos en mención.

A continuación se mostrara tablas con los tamaños de grano ASTM obtenidas en el ensayo.

Tabla 4.2.6 Tamaño de grano ASTM en juntas soldadas.

Probetas	TAMAÑO DE GRANO ASTM (G)		
	METAL BASE	ZAT	MATERIAL DE APORTE
AGA B84 3.1	7	5	4.6
AGA B85 3.2	6	5	1
E-7018 3.3	7	5	4.6

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Tabla 4.2.7 Porcentaje de Perlita en juntas soldadas.

Probetas	PORCENTAJE DE PERLITA (%)	
	ZAT	MATAL BASE
AGA B84 3.1	30.8	30.4
AGA B85 3.2	26.8	27.5
E-7018 3.3	29.7	31.8

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Tabla 4.2.8 Porcentaje de Ferrita en juntas soldadas.

Probetas	PORCENTAJE DE FERRITA (%)	
	ZAT	MATAL BASE
AGA B84 3.1	69.2	69.6
AGA B85 3.2	73.2	72.5
E-7018 3.3	70.3	68,2

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

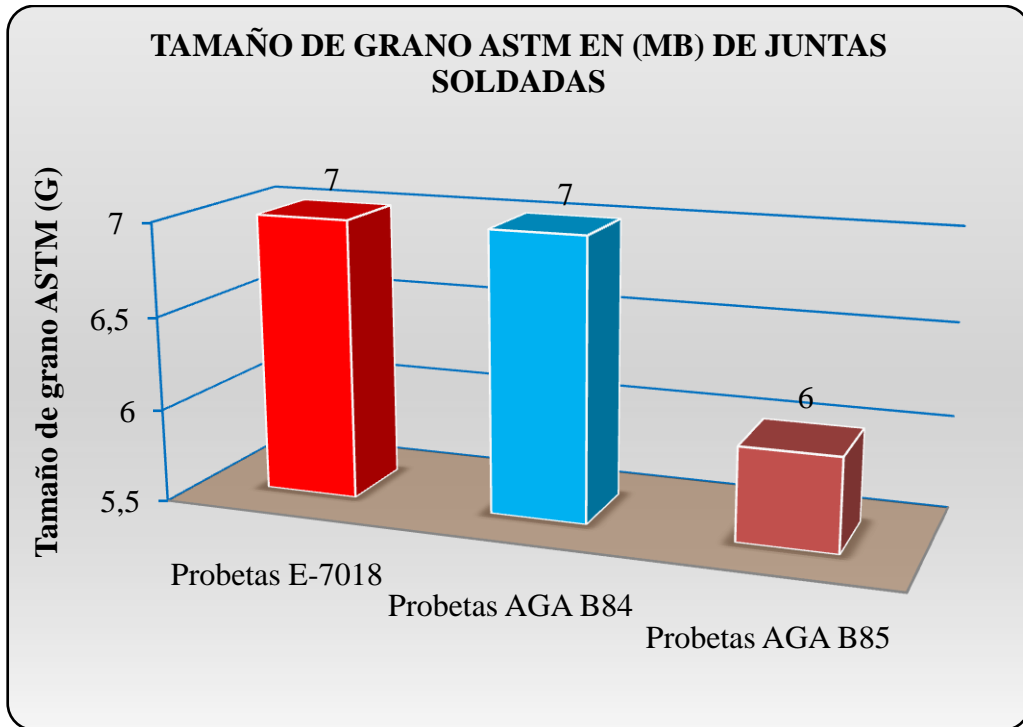


Figura 4.5a Valores comparativos de tamaño de grano ASTM en (Metal Base) con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.5a se puede observar el tamaño de grano ASTM del metal base de la junta soldada de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores de $G = 6$ y $G = 7$, correspondiente a los electrodos AGA B85 y AGA B84 respectivamente. En la figura mencionada y los datos obtenidos nos existe mucha diferencia en los tamaños de grano obtenidos del material base determinados en el ensayo con respecto al electrodo E-7018 que presenta un tamaño de grano $G = 7$.

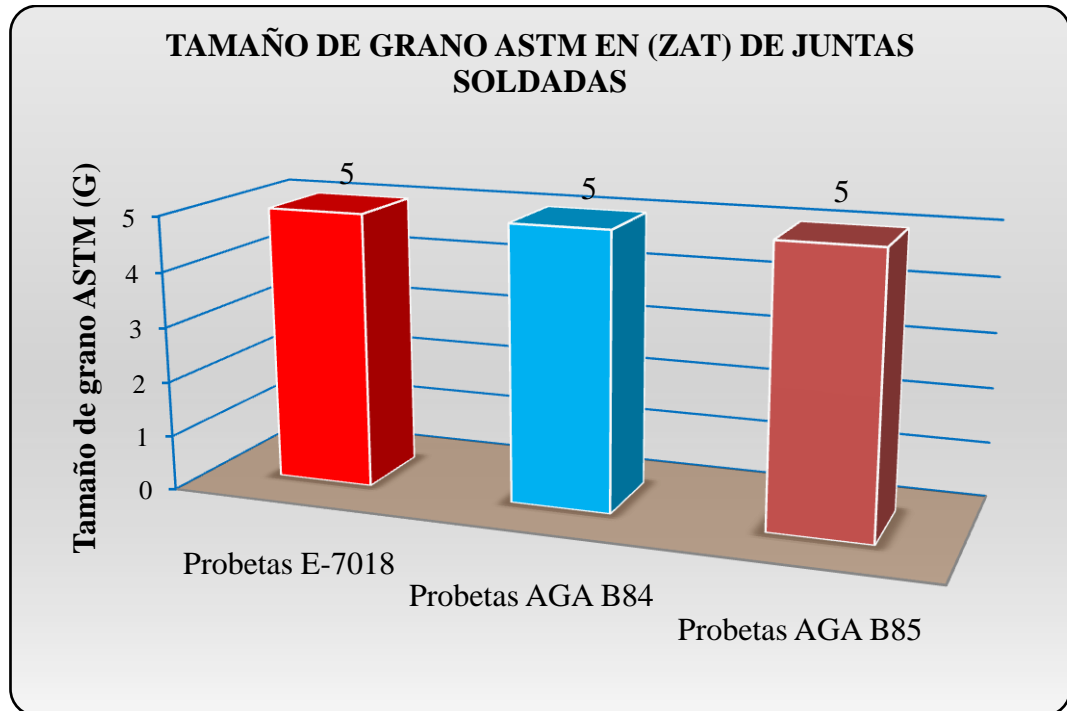


Figura 4.5b Valores comparativos de tamaño de grano ASTM en (ZAT) con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.5b se puede observar el tamaño de grano de la (ZAT) de la junta soldada de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores de $G = 5$ y $G = 5$ correspondiente a los electrodos AGA B85 y AGA B84 respectivamente, los mismos que no presentan ninguna variación con respecto al electrodo E-7018 que presenta un tamaño de grano de $G = 5$.

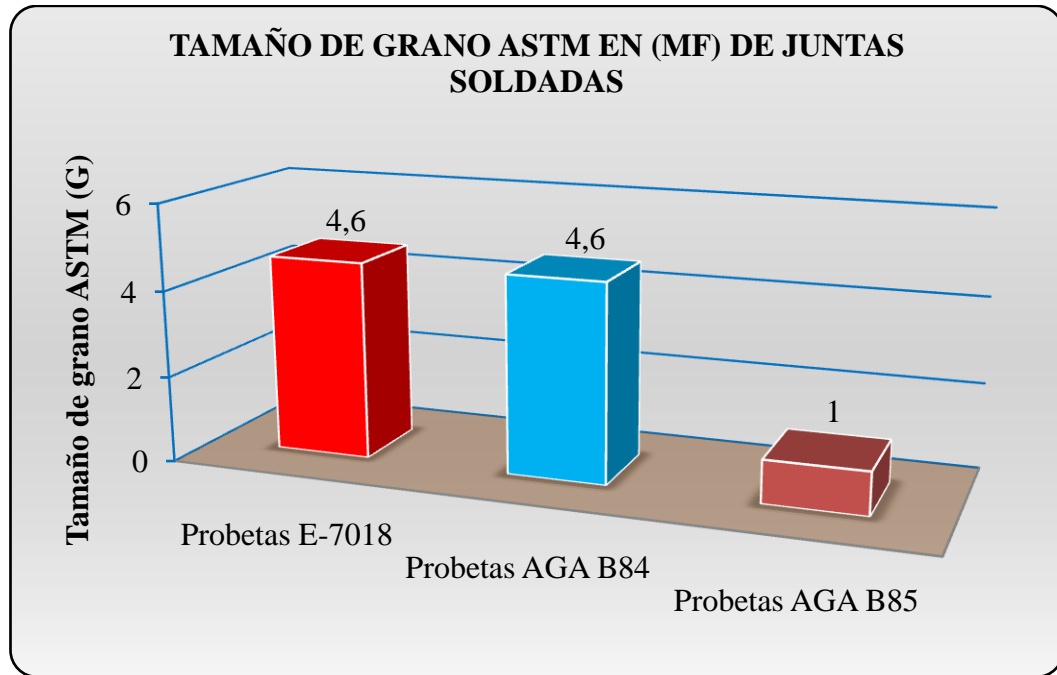


Figura 4.5c Valores comparativos de tamaño de grano ASTM en (Material de Aporte) con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.5c se puede observar el tamaño de grano obtenido del cordón de soldadura de la junta soldada del acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores de tamaño de grano de $G = 4.6$ y $G = 1$ correspondiente a los electrodos AGA B84 y AGA B85 respectivamente, este último presenta una diferencia significativa en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor de tamaño de grano de $G = 4,6$.

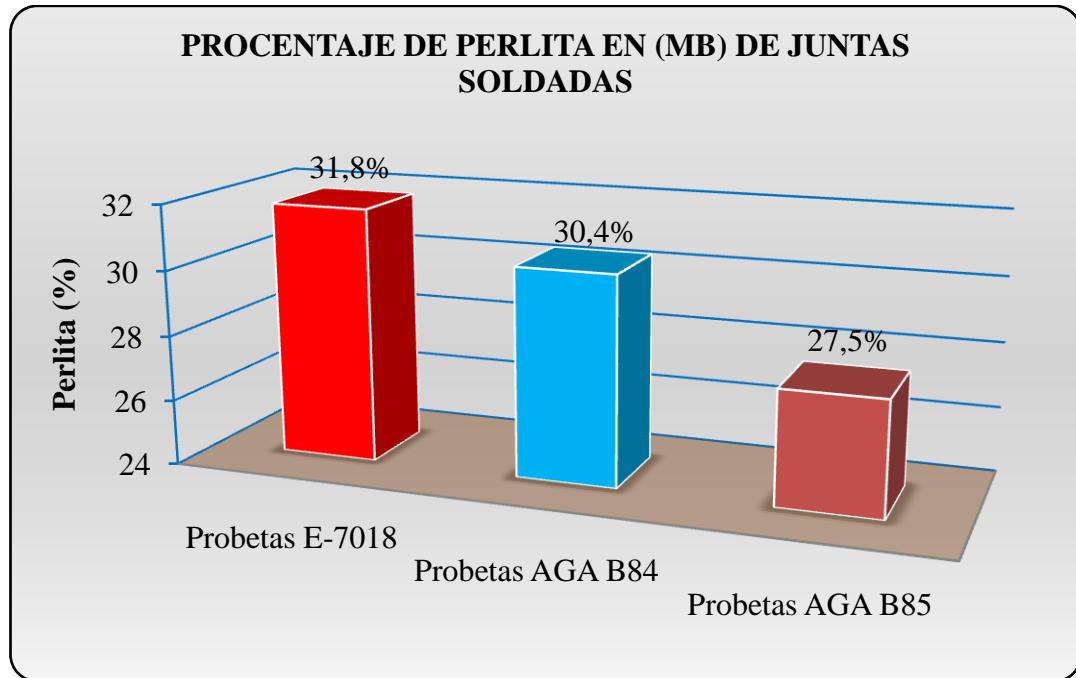


Figura 4.5d Valores comparativos del porcentaje de Perlita en (Metal Base) con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.5d se puede observar el porcentaje de perlita obtenido del metal base de la junta soldada del acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores de 30,4% y 27,5% correspondiente a los electrodos AGA B84 y AGA B85 respectivamente, este último presenta una disminución no muy significativa en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor de 31,8%.

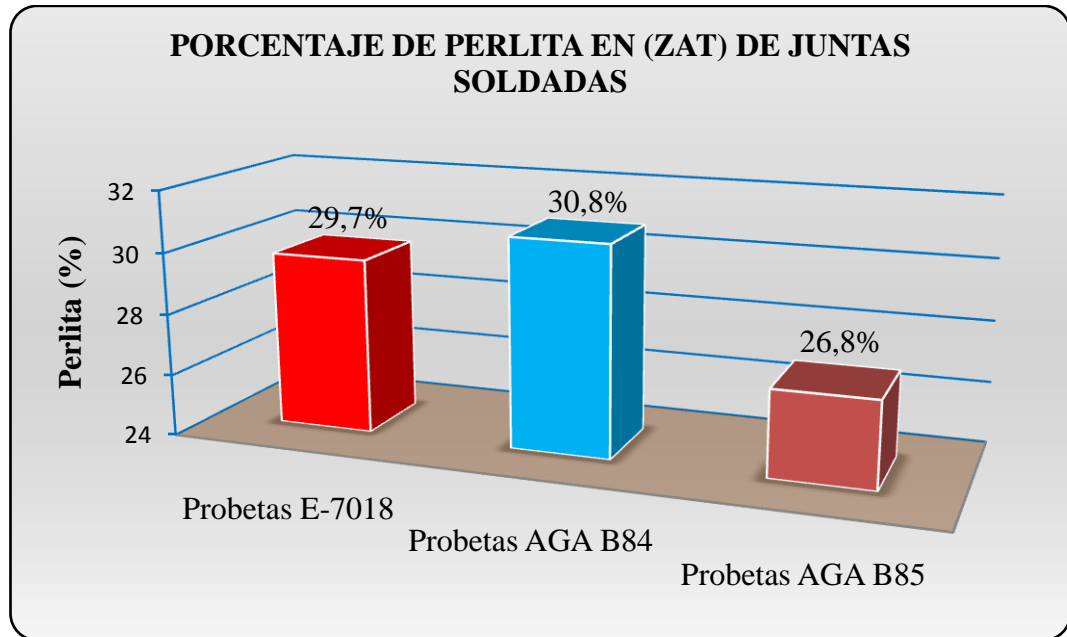


Figura 4.5e Valores comparativos del porcentaje de Perlita en (ZAT) con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.5e se puede observar el porcentaje de perlita obtenido en la (ZAT) de la junta soldada del acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores de 30,8% y 26,8% correspondiente a los electrodos AGA B84 y AGA B85 respectivamente, este último presenta una disminución no muy significativa en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor de 29,7%.

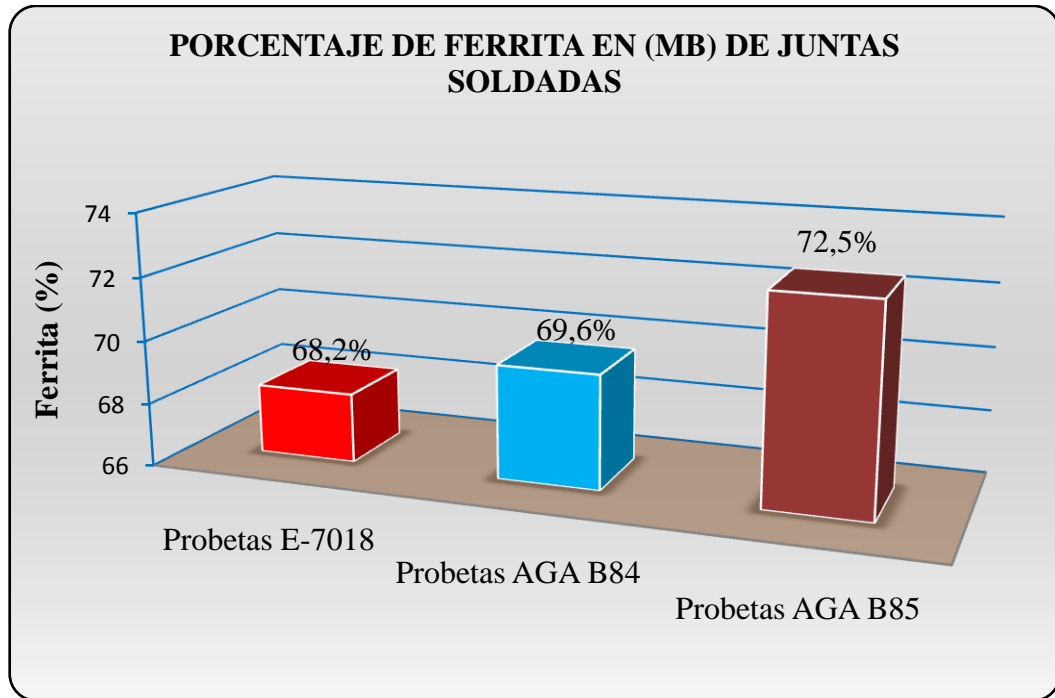


Figura 4.5f Valores comparativos del porcentaje de Ferrita en (Metal Base) con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.5f se puede observar el porcentaje de ferrita obtenido en el material base de la junta soldada del acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores de 69,6% y 72,5% correspondiente a los electrodos AGA B84 y AGA B85 respectivamente, este último presenta una diferencia no muy significativa en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor de 68,2%.

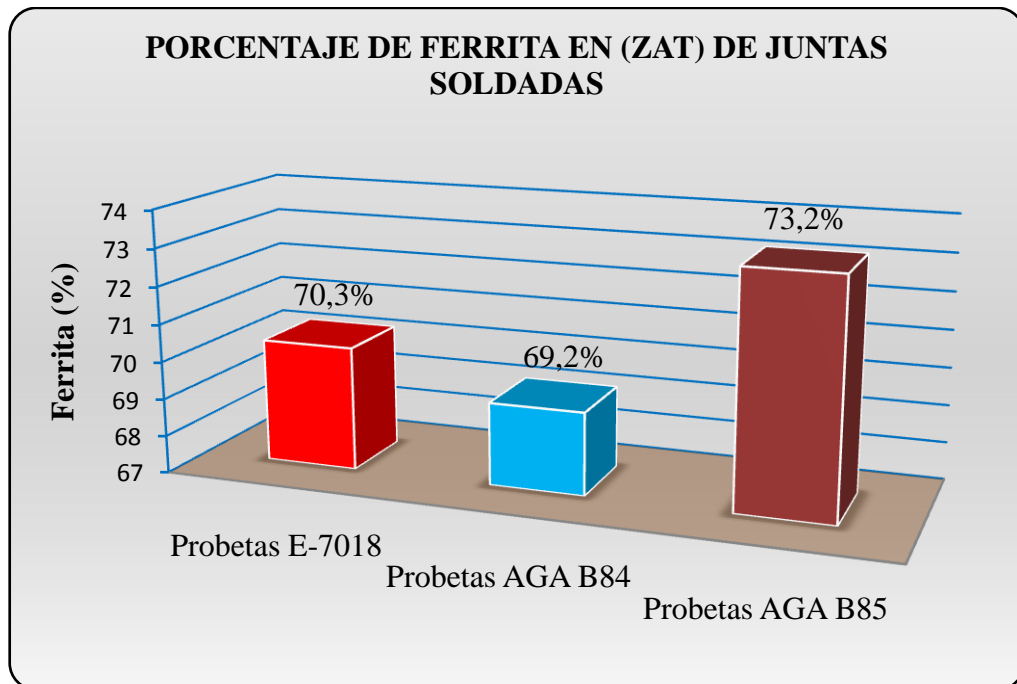


Figura 4.5g Valores comparativos del porcentaje de Ferrita en (ZAT) con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.5g se puede observar el porcentaje de ferrita obtenido en la (ZAT) de la junta soldada del acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores de 69,2% y 73,2% correspondiente a los electrodos AGA B84 y AGA B85 respectivamente, este último presenta una diferencia no muy significativa en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor de 70,3%.

Como información adicional se pudo comprobar que mediante la aplicación del electrodo AGA B85 y AGA B84, estos dos contiene porcentajes de carburos de cromo (C(Cr)) y martensita (M) obtenida en su microestructura, ya que la mayor parte de su composición química está compuesta de cromo.

4.4.4. Ensayo de dureza de las probetas.

El ensayo de dureza mide la resistencia de la superficie de un material a la penetración por un objeto duro.

Las pruebas de dureza se las realizó para dureza Rockwell y Brinell de acuerdo a las normas ASTM E18-00 y ASTM E10-01 respectivamente.

Este ensayo se lo realizó en probetas rectangulares maquinadas transversalmente al cordón de soldadura.

Las mediciones se las realizaron desde el centro del cordón de soldadura hacia el metal base con separaciones de 1 mm aproximadamente.

Los resultados obtenidos se los muestra por medio de tablas y graficas de dureza HB vs distancia desde el centro del cordón de soldadura.

Tabla 4.2.9 Dureza obtenida en juntas soldadas con electrodo AGA B84.

Probetas AGA B84	DUREZA BRINELL (HB)		
	0 mm	5 mm	8 mm
4.1	341HB = 36 HRc	121	117
4.2	340HB = 35.9 HRc	119	119
4.3	341HB = 36 HRc	121	118
4.4	340HB = 35.9 HRc	120	118
4.5	342HB = 36.09 HRc	118	117
Promedio	340.8HB = 35.98 HRc	119.8	117.8

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Tabla 4.2.10 Dureza obtenida en juntas soldadas con electrodo AGA B85

Probetas AGA B85	DUREZA BRINELL (HB)		
	0 mm	5 mm	8 mm
4.6	492HB = 49.83HRc	121	117
4.7	483HB = 49.33HRc	121	119
4.8	492HB = 49.83HRc	119	118
4.9	483HB = 49.33HRc	121	118
4.10	488HB = 49.61HRc	119	118
Promedio	487.6HB = 49.57HRc	120.2	118

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Tabla 4.2.11 Dureza obtenida en juntas soldadas con electrodo AGA E-7018

Probetas AGA E-7018	DUREZA BRINELL (HB)		
	0 mm	5 mm	8 mm
4.11	137	119	118
4.12	138	119	118
4.13	137	118	117
4.14	138	119	117
4.15	137	119	117
Promedio	137.4	118.8	117.4

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

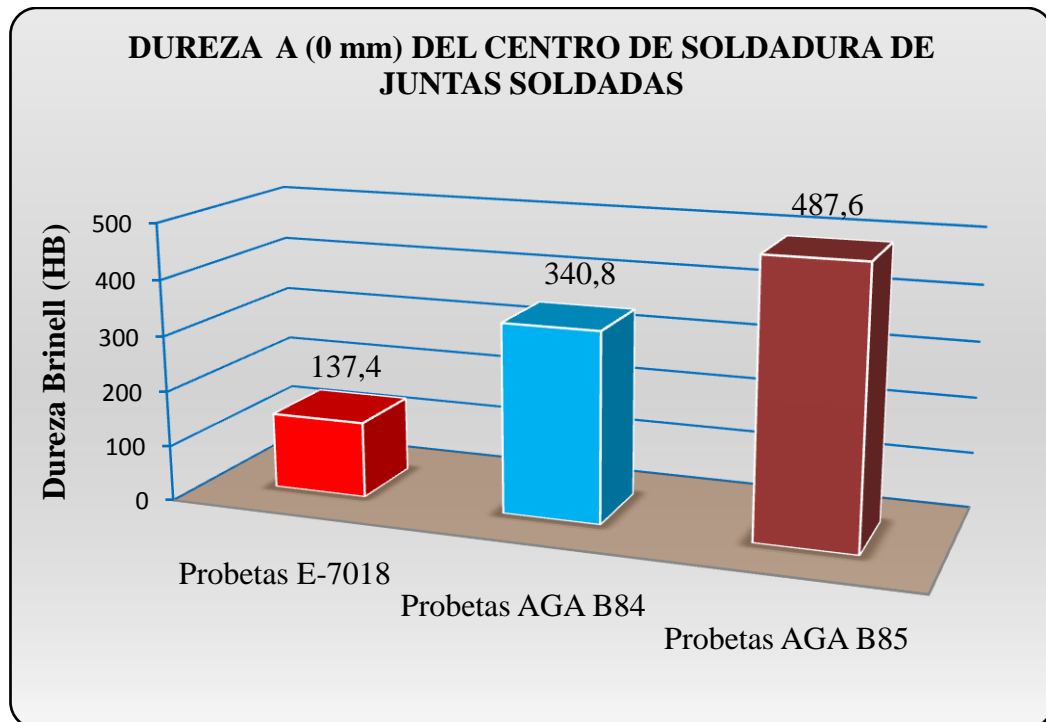


Figura 4.6a Valores promedio comparativos de dureza a (0 mm) del centro de soldadura con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.6a se puede observar la dureza medida a (0 mm) del centro del cordón de soldadura de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores promedio de (487.6HB = 49.57HRc) y (340.8HB = 35.98HRc) correspondiente a los electrodos AGA B85 y AGA B84 respectivamente, los mismos que presentan un aumento muy significativo con respecto al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 137.4HB. Además presenta su máximo valor promedio que es de (487.6HB = 49.5HRc) perteneciente al electrodo AGA B85.

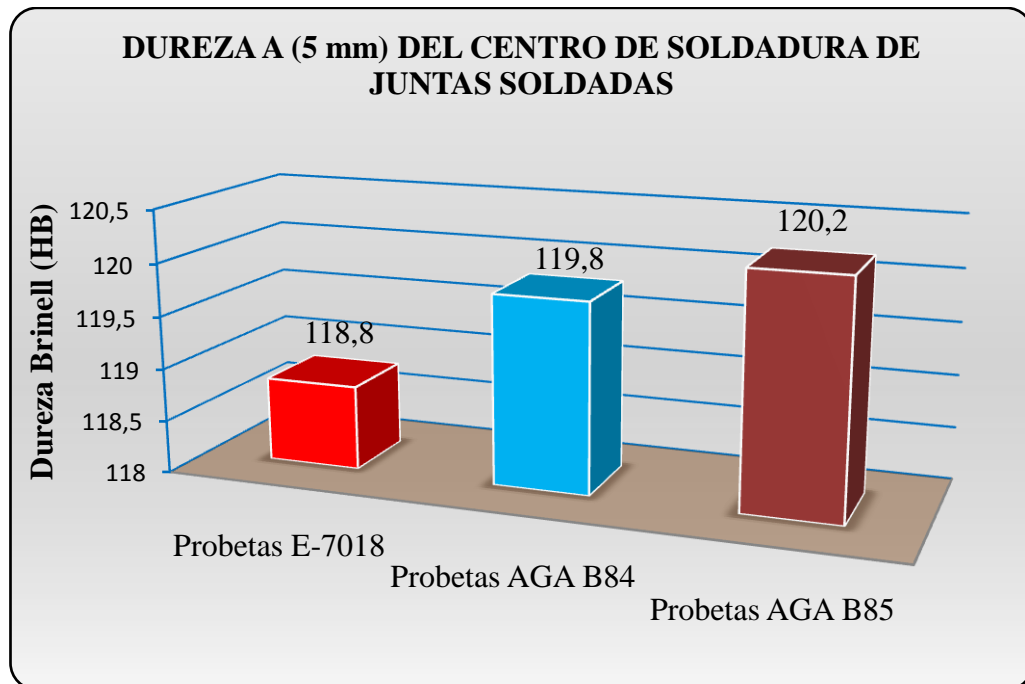


Figura 4.6b Valores promedios comparativos de dureza a (5 mm) del centro de soldadura con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.6b se puede observar la dureza medida a (5 mm) del centro del cordón de soldadura de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores promedios de 120.2HB y 119.8HB correspondientes a los electrodos AGA B85 y AGA B84 respectivamente, los mismos que presentan un aumento poco significativo con respecto al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 118.8 HB.

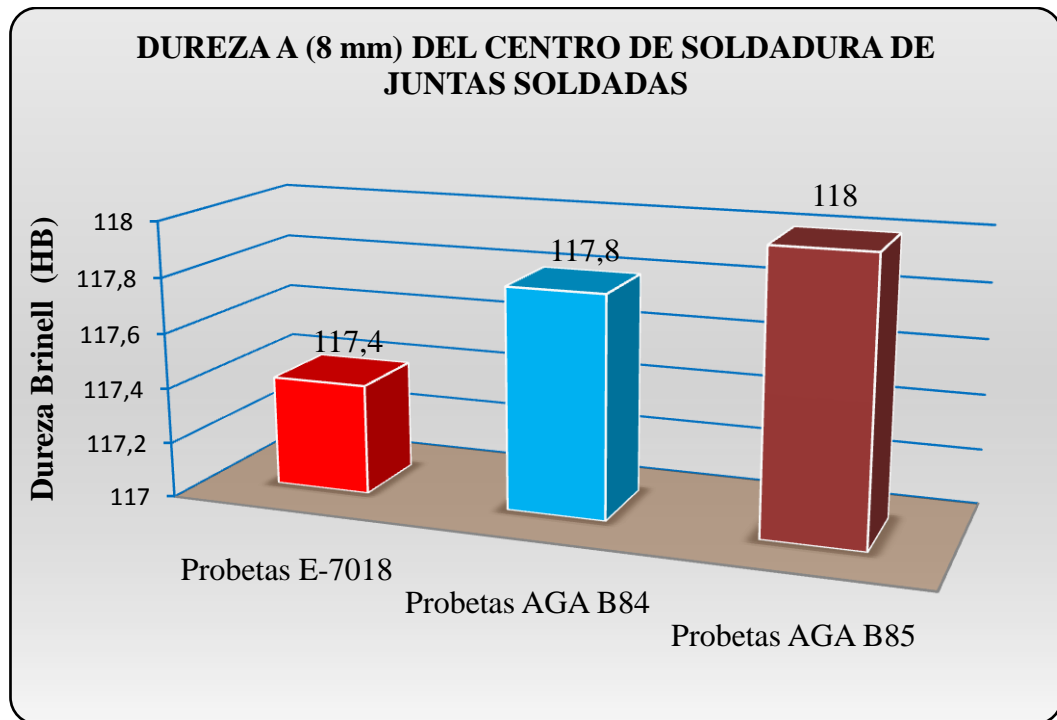


Figura 4.6c Valores promedios comparativos de dureza a (8 mm) con respecto al electrodo E-7018.

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

En la Figura 4.6c se puede observar la dureza medida a (8 mm) del centro del cordón de soldadura de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW. Tiene valores promedios de 118 HB y 117.8HB correspondientes a los electrodos AGA B85 y AGA B84 respectivamente, los mismos que presenta un aumento poco significativo con respecto al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 117.4HB.

Para las mediciones de dureza en el material de aporte (AGA B84 y AGA B85) se tomaron mediciones con el método **Rockwell C** ya que esta permite medir mayores durezas, Luego se realizó conversiones de dureza (HRC a HB) basándonos en Anexo D.

En la Figura 4.6a se observa que los valores más altos de dureza se encuentran localizados en el cordón de la soldadura. Después de realizadas las pruebas experimentales, se obtiene que el electrodo AGA B85 y AGA B84 mejoran notablemente la dureza en comparación con el electrodo E-7018.

Los electrodo AGA B85 y AGA B84 con valores de (487.6HB = 49.5HRc) y (340.8HB = 35.98HRc) respectivamente que en comparación con el electrodo E-7018 con un valor de dureza igual a 137.4HB, motivo por el cual la utilización del material de aporte ya sea AGA B85 o AGA B84 es aceptable para la cumplir algunos de los objetivos planteados.

4.5. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.

Hipótesis: La aplicación de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 con electrodos AGA (B84 y B85) mediante el proceso SMAW mejorara las propiedades mecánicas en comparación con electrodo de acero al carbono E-7018.

Tabla 4.2.12 Comparación de algunas propiedades mecánicas.

Tipo de Electrodo	E-7018	AGA B84	AGA B85
Parámetro			
Resistencia última a la tracción (MPa)	442.14	403.57	366.26
Tenacidad (J)	155	73,33	55,67
Dureza en “Material de Aporte” (HB)	137.4	340.8	487.6

Elaborado por: Egdo. Telenchana José Luis

Luego de haber realizado los ensayos experimentales utilizando los electrodos de revestimiento duro (AGA B84 y AGA B85) en juntas soldadas de acero al carbono ASTM A36 de ½” mediante el proceso SMAW, se puede determinar que, la aplicación de las mismas satisface algunas de las propiedades mecánicas, analizadas con respecto al electrodo de acero al carbono (E-7018).

La mejor aplicación de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, que mejor combinación produce de sus propiedades mecánicas, es la aplicación del material de aporte AGA B84. En donde se verifica que la dureza aumenta un valor muy significativo de 203.4 HB,

la resistencia a la tracción (**Sut**) muestra una disminución de 38.57 MPa no muy considerable en relación con el electrodo E-7018 y por último su resistencia al impacto tiene un valor aceptable de 73.33 J.

Por otra parte si se compara con el electrodo de acero al carbono (E-7018) que actualmente se utiliza con frecuencia en la industria mecánica, se puede ver que el electrodo AGA B84 aumenta en un valor normal sus propiedades mecánicas como se observar en la tabla 4.2.12, por tanto se demuestra que es el material de aporte más adecuado para ser utilizado en la industria mecánica.

Evaluando los diferentes electrodos anteriormente descritos, se obtiene distintos valores de propiedades, calificando de esta manera a la hipótesis como positiva, debido a que la correcta aplicación de los electrodos para recubrimientos duros nos permite obtener valores de propiedades mecánicas distintas, verificando y demostrando de esta manera la hipótesis.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Realizado el análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW y su incidencia en las propiedades mecánicas se concluye lo siguiente:

- ❖ El procedimiento de soldadura (WPS) elaborado para las juntas soldadas a tope con ranura en V, en posición 1G cumple con los requerimientos de calificación establecidos en la AWS D1.1. (2002).
- ❖ El electrodo AGA B85 posee algunos defectos en su aplicación, resulta ser el de menor rendimiento utilizándose la mayor cantidad de varillas en la unión y es el que registra el mayor precio comercial.
- ❖ El electrodo AGA B85 por su resistencia a fundirse, el avance es lento y requiere de un elevado amperaje en su aplicación, esto hace que resulte un poco antieconómico, considerando el mayor consumo de energía eléctrica.
- ❖ El electrodo AGA B84 tuvo la mayor facilidad para fundirse, es el de mayor rendimiento, y se utilizaron una menor cantidad de varillas en la unión soldada de acero al carbono A36.
- ❖ La aplicación del electrodo AGA B84 en las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, presenta una

mejor adherencia con el metal base en comparación con el electrodo AGA B85.

- ❖ El porcentaje de elongación mínimo obtenido de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, fue localizado en las probetas soldadas con electrodo AGA B85 que poseen un valor promedio de 5,45% en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 23,83% lo cual crea un material menos dúctil.
- ❖ El porcentaje de reducción de área mínimo obtenida de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, fue localizado en las probetas soldadas con electrodo AGA B85 que tiene un valor promedio de 14,79% en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 55,53%, esto hace que sea menos dúctil.
- ❖ La resistencia a la tracción mínima obtenida de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, fue localizado en las probetas soldadas con electrodo AGA B85 con un valor promedio de 366,26 MPa que en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 442,14 MPa, con lo cual se puede decir que a mayor dureza disminuye la resistencia a la tracción.
- ❖ La resistencia a la cedencia mínima obtenida de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, fue localizada en las probetas soldadas con electrodo AGA B84 con un valor promedio de 243,23 MPa en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 267,14 MPa, lo cual se puede decir que a mayor dureza tiende a disminuir la resistencia a la cedencia.

- ❖ El módulo de elasticidad en las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, con valores de 203,7 GPa, 204,82 GPa correspondiente a los electrodos AGA B84, AGA B85 respectivamente, los mismos que no presentan una diferencia muy significativa en relación al electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 203,084 GPa, por lo que se puede decir que no varía en mayor porcentaje con el aumento de la dureza.

- ❖ La resistencia al impacto en las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, con valores promedios de 73,33Joules y 55,67Joules correspondiente a los electrodos AGA B84 y AGA B85 respectivamente, los mismos que disminuye en forma significativa en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 155Joules, por lo que se puede verificar que a medida que aumenta la dureza disminuye la tenacidad.

- ❖ El valor mínimo de tamaño de grano ASTM obtenida de las juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, fue localizado en el cordón de soldadura con un valor de $G = 1$ perteneciente al electrodo AGA B85 que en comparación con el tamaño de grano del metal base y la zona afectada por el calor del mismo electrodo tienen valores de $G = 7$ y $G = 5$ respectivamente.

- ❖ Los valores superiores de dureza de todas las probetas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, se obtienen en el centro de la soldadura correspondiente a 0 mm con valores promedios de 340,8HB y 487,6HB correspondiente a los electrodos AGA B84 y AGA B85 respectivamente, los mismo que presentan un aumento muy significativo en comparación con el electrodo E-7018 que tiene un valor promedio de 137,4HB, mientras que los

valores mínimos variables se producen a 5 y 8 mm del centro de la soldadura con valores de 117HB a 120HB.

- ❖ La aplicación de revestimiento duro con el electrodo AGA B84 presenta la mejor combinación para mejorar algunas propiedades mecánicas tomando en cuenta en su mayoría su dureza y adherencia que es el objetivo principal de dicho revestimiento.

5.2 RECOMENDACIONES

Por la investigación realizada anteriormente se puede formular las siguientes recomendaciones:

- ❖ Comprobar que el material que se vaya a utilizar sea el que se propuso para el estudio, comparar mediante análisis metalográfico el material como viene de fábrica con las fuentes bibliográficas, catálogos y normas.
- ❖ Realizar una especificación del proceso de soldadura (WPS) para tener una apropiada soldadura en juntas soldadas de acero al carbono A36.
- ❖ Utilizar adecuadamente el equipo de seguridad personal antes de realizar el proceso de soldadura SMAW.
- ❖ No trabajar sobre áreas mojadas o colocar material inflamable cerca donde se está realizando el proceso de soldadura SMAW.
- ❖ Verificar el estado del equipo de soldadura como la conexión al tomacorriente conexión a tierra y estado del porta electrodos.

- ❖ Hacer cambios de polaridad y amperaje en el equipo siempre y cuando este no esté en funcionamiento o encendido.
- ❖ Para un adecuado proceso de soldadura SMAW los electrodos deben estar en un sitio donde no exista humedad.
- ❖ Realizar la respectiva limpieza entre pasadas ya que esto podría presentar defectos en el cordón de soldadura.
- ❖ Se debe tener cuidado de no utilizar maquinaria de corte automático y semiautomático como por ejemplo (el proceso oxicorte) para la obtención de probetas ya que esta recalienta más de lo normal el material base y el material de aporte, y por ende varían algunas de sus propiedades obteniendo resultados inexactos.
- ❖ El mecanizado de todas las probetas de se lo debe realizar con constante refrigeración, ya que a velocidades altas se produce aumento de temperatura y esto conlleva a que afecte al material y por ende obtener datos erróneas.
- ❖ Se recomienda ajustar el deformímetro en la probeta durante ensayo de tracción, pues a medida que avanza el cabezal superior, éste dispositivo se va aflojando registrando lecturas erróneas.
- ❖ Para realizar el ensayo de tracción es recomendable que el ayudante del laboratorio este presente ya que podría ocurrir un imprevisto durante el ensayo.
- ❖ Antes de realizar el ensayo de impacto se recomienda conocer las medidas de seguridad que esta práctica exige e identificar las partes de la máquina.

- ❖ Se recomienda que luego de cada ensayo de impacto el martillo de la máquina se le suba hacia el soporte y se lo ponga su respectivo pin de seguridad.
- ❖ Se recomienda que luego de cada medición de energía absorbida en cada probeta se lo vuelva a encerrar al reloj marcador de energía.
- ❖ Para los ensayos metalográficos y dureza la superficie de las probetas deben estar completamente planas.
- ❖ Se recomienda que para la observación de la estructura metalográfica las probetas deben estar perfectamente pulidas y atacadas con el reactivo adecuado, ya que si no se obtiene esto conllevaría a la obtención de una microestructura defectuosa.
- ❖ Se debe controlar y registrar el tiempo de ataque químico, a fin de no tener un ataque excesivo ya que puede quemar la superficie y por ende se complicaría el desarrollo del ensayo.
- ❖ Se recomienda el correcto manejo de los reactivos de ataque químico (Nital 2 y Nital 4), utilizar protecciones adecuadas como oculares, guantes y mandil.
- ❖ Se recomienda conocer la composición química del material a ensayar, ya que por medio de esta se seleccionaría el reactivo adecuado.
- ❖ Se recomienda antes de realizar el ensayo de dureza conocer los parámetros a utilizar tanto para el ensayo Rockwell como Brinell que esta práctica exige e identificar las partes de la máquina.

- ❖ Una vez realizado el ensayo metalográfico se recomienda usar la misma probeta para realizar el ensayo de dureza, ya que la superficie queda en condiciones para realizar este ensayo.

- ❖ Al realizar el ensayo de dureza Brinell tener cuidado al utilizar el microscopio manual, ya que al momento de medir la huella marcada por el durómetro, la lectura de esta debe ser lo más exacta posible para no obtener datos erróneos.

CAPÍTULO VI

6 PROPUESTA

ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL ELECTRODO AGA B84 COMO RECUBRIMIENTO PROTECTOR MEDIANTE EL PROCESO SMAW EN JUNTAS Y SUPERFICIE DE UN PARCHE REPARADOR EN LA PARTE INFERIOR INTERNA DEL CUCHARON DE UNA PALA MECÁNICA RESTAURADO ANTERIORMENTE CON UNA PLACA DE ACERO A36

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Una vez concluido el análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, se ha logrado determinar que con la aplicación del electrodo AGA B84 mejoran algunas de sus propiedades mecánicas, como por ejemplo: su dureza que es el objetivo básico de dicho revestimiento y además es el que mayor adherencia tiene con el material base.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, pues en este laboratorio se encuentran los equipos necesarios para realizar los respectivos ensayos, entre los equipos que dispone el laboratorio se puede mencionar: la máquina universal (Tinius Olsen (capacidad 30 Tn)) para el ensayo de tracción, máquina para ensayo de impacto, los equipos (lijas, pulidora de paño, reactivos, computadora) para el ensayo metalográfico y durómetro, los mismos que fueron útiles para determinar las propiedades de interés.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Mediante investigaciones realizadas con anterioridad acerca del análisis de revestimientos duros en juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, se concluyó que la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector, este resulte ser el más eficaz y eficiente puesto que con la aplicación de este material de aporte, aumenta su dureza y por ende incrementa la resistencia al desgaste de cualquier pieza mecánica sometida a abrasión.

Concluido el presente análisis se ha determinado que con la aplicación del electrodo AGA B84 se mejoran algunas de sus propiedades mecánicas analizadas, por lo cual se propone la aplicación del revestimiento duro por el procedimientos SMAW, en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36, con electrodo AGA B84.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Es necesario, realizar un procedimiento adecuado el cual se pueda seguir a fin de realizar una aplicación de revestimientos duros con electrodo AGA B84 de excelente calidad, ya que esto permite mejorar la resistencia de los elementos expuestos a desgaste por abrasión, creando un criterio propio sobre la forma de trabajar y la importancia que tienen los revestimientos duros hoy en día en el sector industrial.

Actualmente, en la industria minera de algunas canteras de la ciudad de Ambato como por ejemplo, “Canteras Kumochi” no se realiza una aplicación de revestimientos duros en parches para la reparación de los cucharones de las palas mecánicas, al realizar un proceso adecuado de aplicación de revestimientos duros con electrodo AGA B84 mediante el proceso SMAW, para reparar la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36, ayudará a reducir el tiempo de paro por la adquisición de uno nuevo.

Esta investigación es sumamente práctico ya que puede ser aplicado a diferentes campos y áreas en donde se requiera emplear revestimientos duros; por estas razones es factible realizar dicha investigación el cual nos ofrecerá beneficios como: evitar desgaste prematuro en cucharones de las palas mecánicas, brindar un mejoramiento en sus propiedades mecánicas para así evitar paros por reparación y pérdidas económicas elevadas.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Elaborar un procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW, en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Elaborar un especificación de procedimiento de soldadura WPS para la aplicación de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica.
- ✓ Implantar los procedimientos a seguir para una correcta aplicación del electrodo AGA B84 mediante el proceso SMAW, en la junta del parche reparador.
- ✓ Realizar la aplicación de recubrimiento con electrodo AGA B84 mediante el proceso SMAW, en la superficie del parche reparador.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Con los costos detallados en la tabla 6.3, se determina que la elaboración de la propuesta es factible de realizarse, ya que se cuenta con información, catálogos y normativa necesaria, además del recurso humano como el autor y ayudante en el procesos de soldadura, materiales e instrumentos que fueron facilitados por el taller de soldadura existente en las Canteras Kumochi, sumado a esto se toma en cuenta que todos los elementos considerados para el desarrollo de la propuesta, son de costo moderado y se encuentran en el mercado nacional por lo que son de fácil adquisición.

En cuanto a la realidad del sector minero, es importante implementar un procedimiento adecuado para la colocación de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica, mediante la aplicación de revestimientos duros con electrodo AGA B84 es factible, puesto que ayudará a incrementar las propiedades mecánicas de dicho elemento de la máquina.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La presente propuesta se fundamentó en la teoría del Capítulo II y IV y V que tiene relación con el marco teórico, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones, donde se presentan los factores y características básicas de los ensayos realizados durante el estudio para determinar que el electrodo AGA B84, sea el más indicado para realizar un mantenimiento o reparación de cualquier pieza mecánica, mediante la aplicación de dicho material de aporte como recubrimiento protector.

6.7 METODOLOGÍA

El desarrollo del estudio se lo ejecutó íntegramente en el taller de soldadura de las Cantera Kumochi; a continuación se detalla aplicación del electrodo AGA B84 como revestimiento protector mediante el proceso SMAW, en las juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

**6.7.1 PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL ELECTRODO
AGA B84.**



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas	Calificado:	Si:	No: X	
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)	Fecha de ejecución:	15/06/2013		

1. OBJETIVO.

Aportar un procedimiento de apoyo técnico, que sirva de guía para el desarrollo en forma adecuada de las actividades que conforman el, “Proceso para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW, en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica, restaurado anteriormente con una plancha de acero A36”.

2. ALCANCE:

Este procedimiento sirve para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW, en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica, restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas	Calificado:	Si:	No: X	
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)		Fecha de ejecución:	15/06/2013	

3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA:

El documento de referencia se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II y en catálogos, así como también en la AWS D1.1 (Código de soldaduras en estructuras de acero. 2002).

4. GENERALIZACIÓN:

La aplicación de revestimientos duros es una de las técnicas contempladas para evitar el desgaste prematuro de las pizas sometidas a desgaste por abrasión. La aplicación de los revestimientos duros consiste en depositar alguna clase de aleación especial sobre una parte metálica.

5. REALIZACION:

Para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento duro, en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36, se realiza los siguientes pasos:



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas	Calificado:	Si:	No: X	
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)		Fecha de ejecución:	15/06/2013	

1.- Identificar el tipo de desgaste al cual está o estará sometida la pieza.

En este caso la pieza (cucharón) está sometida a desgaste por abrasión y mediano impacto, ya que este elemento de máquina cumple con la función de carga y descarga de material pétreo como se muestra.



Figura 5 Parte inferior interna sometida a desgaste por abrasión (cucharón)

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis

2.- Selección de la zona a reparar.

Para la selección de la zona a reparar se ha realizado una zonificación de la parte inferior interna del cucharón donde se produce con mayor frecuencia el desgaste por abrasión.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)			Fecha de ejecución:	15/06/2013



Figura 5.1 Forma cónica del material pétreo.
Fuente: Egdo. Telenchana José Luis.

Debido a que el material pétreo presenta una forma cónica, la parte central del cucharón tiende a incidir perpendicularmente para la carga de material, es por esta razón que la parte central inferior interna del cucharón es donde se concentra el mayor desgaste por abrasión.

La parte inferior interna del cucharón, fue restaurada anteriormente con una plancha de acero A36 con dimensiones de: (1.80 * 0.8) m y ½ pulg de espesor, la cual aproximadamente año y medio, está ya presenta algunos desperfectos en su plancha restauradora.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)			Fecha de ejecución:	15/06/2013



Figura 5.2 Parte inferior interna del cucharón (Zonificación).

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis.

En esta figura, la *ZONA B* es la que está sometida al 100% de desgaste por abrasión, con lo cual se selecciona como la parte a reparar mediante la aplicación del parche.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas	Calificado:	Si:	No: X	
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)		Fecha de ejecución:	15/06/2013	

3.- Corte de la zona dañada por el desgaste.

Después de la identificación de la zona dañada se procede al corte y remoción del material desgastado.

Para este procedimiento se utilizó lo siguiente:

- Proceso de oxicorte.
- Cincel y martillo.



Figura 5.3 Corte y remoción de material desgastado.
Fuente: Egdo. Telenchana José Luis.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas	Calificado:	Si:	No: X	
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)		Fecha de ejecución:	15/06/2013	

4.- Preparación de junta y superficie.

Desprendimiento de rebabas del material que deja una vez realizado el corte. Esto se efectúa perfectamente mediante el esmerilado (Pulidora de disco), pero si esto no fuera posible, podrá hacerse con cepillo de alambre.



Figura 5.4 Limpieza, desprendimiento de rebabas y preparación de junta y superficie

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas	Calificado:	Si:	No: X	
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)		Fecha de ejecución:	15/06/2013	

5.- Proceso de soldadura SMAW.

Una vez preparada la junta del parche y de la zona a reparar, su soldadura debe tomarse como la unión de un metal base en posición 1G, para la especificación de procedimiento de soldadura se realizó sus respectivas simbologías, acotación y WPS para dicha reparación, como se los puede observar al final de esta guía.

5.1.- Higiene y Seguridad.

Al realiza el proceso de soldadura SMAW, el operador tiene que observar con especial cuidado las reglas de seguridad, a fin de contar con la máxima protección personal y también proteger a las otras personas que están a su alrededor. En la mayor parte de los casos, la seguridad es una cuestión de sentido común. Los accidentes pueden evitarse si se cumplen todas las normas de seguridad.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas	Calificado:	Si:	No: X	
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)		Fecha de ejecución:	15/06/2013	

5.1.1.- Protección personal

Siempre utilice todo el equipo de protección necesario para realizar el proceso de soldadura. El equipo consiste en:

- ❖ **Máscara de soldar:** protege los ojos, la cara, el cuello y debe estar provista de filtros de acuerdo al proceso e intensidades de corriente empleadas.
- ❖ **Guantes de cuero:** para proteger las manos y muñecas.
- ❖ **Delantal de cuero:** para protegerse de salpicaduras y exposición a los rayos ultravioletas del arco.
- ❖ **Zapatos o botas de seguridad:** para evitar el atrape de salpicaduras de material fundido y golpes en la punta de los pies.
- ❖ **Gorro:** protege el cabello y el cuero cabelludo.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)			Fecha de ejecución:	15/06/2013



Figura 5.5 Equipo de protección personal.

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis

5.1.2.- Protección del medio

Limpieza: se lo realiza en el espacio de trabajo, mesa de soldar, piso debe estar libres de basura, polvo, chisporroteos, escoria, pedazos de fierro, etc. Para evitar contaminación de la soldadura y accidentes.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)			Fecha de ejecución:	15/06/2013



Figura 5.6a Espacio de trabajo a realizar la limpieza.

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis

Superficies secas: deben de evitarse la humedad y el agua, ya que estas son conductoras de energía eléctrica y producen desde pérdidas por inducción hasta descargas eléctricas.

Elementos combustibles: el medio debe estar libre de elementos combustibles como: productos oleosos, aserrín, maderas, cartón, líquidos inflamables, gas licuado, acetileno, etc. Para evitar el inicio de un incendio o una explosión.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)			Fecha de ejecución:	15/06/2013



Figura 5.6b Elementos combustibles prohibidos durante el proceso de soldadura.
Fuente: Egdo. Telenchana José Luis

6.- Máquina de soldar

Para el proceso de soldadura se lo realizó con una máquina de soldar eléctrica, marca COMPARC MI 2 – 300 CD con su respectivo porta electrodo.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)			Fecha de ejecución:	15/06/2013



Figura 5.7 Fuente de poder (Máquina de soldar).

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis

7.- Aplicación del electrodo AGA B84 en juntas y superficie del parche reparador

Verificar que el material de aporte este en perfectas condiciones, esto quiere decir libre de impurezas y humedad.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)		Fecha de ejecución:	15/06/2013	



Figura 5.8 Aplicación del Electrodo AGA B84.

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis

8.- Forma adecuada de depositar la soldadura

Los depósitos de soldadura o recubrimientos sobre la superficie del parche reparador se pueden depositar de maneras diferentes dependiendo de la forma de ingreso del material abrasivo sobre la parte inferior del cucharón

Además se debe asegurar el aprovechamiento total de las propiedades antidesgaste del electrodo escogido.



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



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)		Fecha de ejecución:	15/06/2013	

Se realizó un anclaje correcto del material antidesgaste con el material base, a fin de evitar problemas de desprendimiento y/o agrietamiento. Para lo cual se realizó los depósitos en forma paralela a una distancia de 3.5 cm entre cordones lo más uniformes posibles.



Figura 5.9 Disposición adecuada de cordones en parche reparador.

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis

Nota: Para obtener los resultados requeridos es importante la correcta aplicación de este procedimiento, por lo que se realizó la acotación de la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica, para la reparación y colocación de parche reparador como se muestra a continuación:



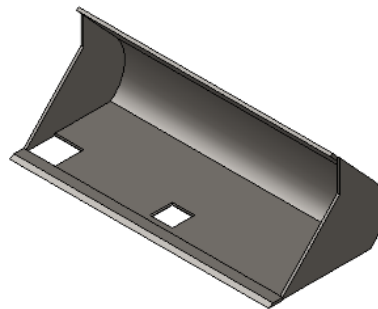
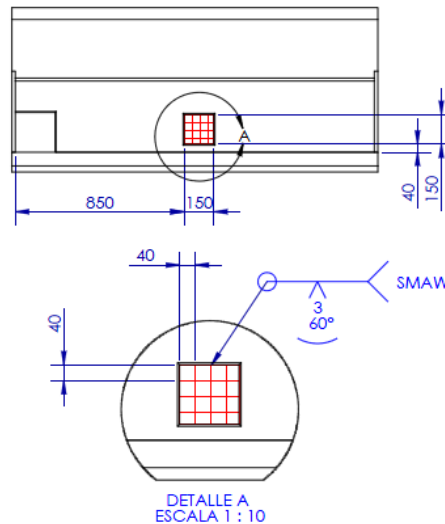
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)			Fecha de ejecución:	15/06/2013

Simbología de soldadura para parche reparador (1).





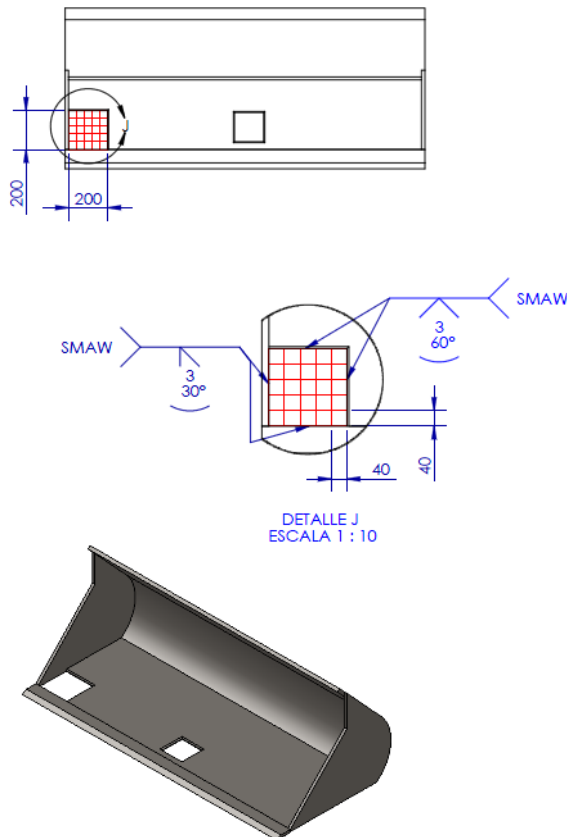
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36.

Pieza:	Cucharón	Autorizado por:	Ing. Mg. Henry Vaca	Realizado por:	Egdo. Telenchana José Luis
Área:	Inferior - interna				
Soldador:	Vicente Huquillas		Calificado:	Si:	No: X
Lugar de realización:	Taller de soldadura (Canteras Kumochi)			Fecha de ejecución:	15/06/2013

Simbología de soldadura para parche reparador (2).



WPS Para el electrodo AGA B84.

WPS ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Nombre de la Empresa:			UTA		Identificación N°:			01		
Proceso(s) de Soldadura:			SMAW		Soporte del PQR N°:			--		
Tipo:	Manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Semiautomático	<input type="checkbox"/>	Automático	<input type="checkbox"/>	Revisión:..... Fecha: 10/09/2012		Por: Telenchana J.L	
Soldador:			Telenchana J.L		Autorizado por:			Ing. Mg. Henry Vaca		
DISEÑO DE UNIÓN					POSICIÓN					
Tipo de unión: A tope Tipo de soldadura: Ranura en V Simple: <input checked="" type="checkbox"/> Doble: ... Abertura de raíz: 3mm Longitud de cara de raíz: 3mm Ángulo de ranura: 60° Radio: (J/U) Soporte: Si: No: <input checked="" type="checkbox"/> Material del aporte:.....-..... Limpieza de raíz: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No: Método: Esmeril					Ranura: 1G Filete:-..... Plancha: <input checked="" type="checkbox"/> Tubería:-.....					
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS										
MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW) N/A										
Corto circuito Globular Spray										
Corriente Proceso SMAW:					AC:	DCEP: <input checked="" type="checkbox"/>		Pulso: DCEN		
TÉCNICA										
Aportación:			Recta:	Oscilante: <input checked="" type="checkbox"/>						
Pase:			Simple:	Múltiple: <input checked="" type="checkbox"/>						
Limpieza entre pase:			Si: <input checked="" type="checkbox"/> No:	Método: Esmeril						
METAL DE APORTE					PRECALENTAMIENTO					
Especificación AWS:			A 5.1		Temperatura de precalentamiento:			N/A		
Clasificación AWS			E6011, (AGA B84)		Temperatura de interpase:			N/A		
Marca:			AGA		POSCALENTAMIENTO					
Tamaño del electrodo:			3.2mm		Temperatura:			N/A		
PROTECCIÓN					Observaciones:					
Fundente: Revestimiento Gas: -- Composición: -- Velocidad de flujo: -- Tamaño de la boquilla: --					Para parche reparador no se realiza ningún maquinado.					
Detalles de la Unión y Secuencia de Soldadura										
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		CORRIENTE			Velocidad de Avance (mm/min)	Técnicas de Soldadura	
			Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (Volt)		Oscil ante	Recto
1	SMAW		E-6011	3,2	CA.CC.EP.	120	35	172		
2	SMAW		E-7018	3,2	CA.CC.EP.	150	35	150		X
3	SMAW		E-7018	3,2	CA.CC.EP.	150	35	150	X	
4	SMAW		AGA B84	3,2	CC.CA.EP.	130	35	150	X	
ELABORADO POR: Egdo. Telenchana José Luis					FECHA: 10/09/2012					
APROBADO POR: Ing. Mg. Henry Vaca					COMPAÑÍA: N/A					

6.8 ADMINISTRACIÓN

El análisis económico de la investigación y propuesta se presenta en la tabla 6.2 y 6.3 en donde se desglosan los materiales y recursos utilizados:

Tabla 6.2 Costo total de la investigación. (Fuente: Egdo. Telenchana José Luis)

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
RECURSOS MATERIALES					
1	Platina de acero ASTM A36 (3x1/2")	1	u	\$ 62,60	\$ 62,60
2	Electrodos AGA E-6011 de 1/8"	0.5	Kg	\$ 2,20	\$ 1,10
3	Electrodos AGA E-7018 de 1/8"	0.5	Kg	\$ 3,50	\$ 1,75
4	Electrodos AGA B84 de 1/8"	0.5	Kg	\$ 12	\$ 6
5	Electrodos AGA B85 de 1/8"	0.5	Kg	\$ 25,70	\$ 12,85
6	Soldadura de probetas	25	u	\$ 10	\$ 250
7	Equipo de protección para soldar	1	u	\$ 22,00	\$ 22,00
8	Hoja de sierra	1	u	\$ 1	\$ 1
9	Lima media caña (fina)	1	u	\$ 5,77	\$ 5,77
10	Cuchilla para mecanizado (vidia)	1	u	\$ 7	\$ 7
11	Mecanizado de probetas (Tracción)	25	u	\$ 10	\$ 250
12	Mecanizado de probetas (Impacto)	15	u	\$ 10	\$ 150
13	Arco de sierra	1	u	\$ 12,00	\$ 12,00
14	Pliegos de lijas # 240	3	u	\$ 0,80	\$ 2,40
15	Pliegos de lijas # 240	3	u	\$ 0,80	\$ 2,40
16	Pliegos de lijas # 240	3	u	\$ 0,80	\$ 2,40
17	Pliegos de lijas # 240	3	u	\$ 0,80	\$ 2,40
18	Alúmina	1	lb	\$ 150,00	\$ 150,00
19	Nital 4	1	envase	\$ 10,00	\$ 10,00
20	Disco de corte	1	u	\$ 3,20	\$ 3,20
21	Disco de desbaste	1	u	\$ 5,00	\$ 5,00
22	Paño metalográfico	1	m	\$ 25,00	\$ 25,00
TOTAL DE RECURSOS MATERIALES					\$ 984,75

RECURSOS HUMANOS					
23	Soldador	1	u	\$ 60,00	\$ 60,00
24	Fresador / Limador	1	u	\$ 60,00	\$ 60,00
25	Derecho de tutor	1	u	\$ 250,00	\$ 250,00
26	derechos de autor	1	u	\$ 300,00	\$ 300,00
27	Recolección de la información	1	u	\$ 50,00	\$ 50,00
28	Ayudante para preparación de probetas	1	u	\$ 50,00	\$ 50,00
TOTAL DE RECURSOS HUMANOS					\$ 770,00

RECURSOS VARIOS					
29	Hojas resman	3	paquetes	\$ 5,89	\$ 17,67
30	Copias	400	u	\$ 0,02	\$ 8,00
31	Impresiones	950	u	\$ 0,10	\$ 95,00
32	Anillados	3	u	\$ 3,00	\$ 9,00
33	Empastados	3	u	\$ 10,00	\$ 30,00
34	Internet	20	horas	\$ 0,80	\$ 16,00
35	Transporte	\$ 30,00	\$ 30,00
TOTAL DE RECURSOS VARIOS					\$ 205,67

Subtotal	\$ 1.960,42
10% Imprevistos	\$ 178,24
Total 1	\$ 2.138,66

Tabla 6.3 Costo total de propuesta. (Fuente: Egdo. Telenchana José Luis).

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	CODTO TOTAL
RECURSOS MATERIALES					
1	Electrodos AGA B84 de 1/8"	1	Kg	\$ 13,60	\$ 13,60
2	Soldadura de parche	1	u	\$ 5,00	\$ 5,00
3	Rayador/Marcador	1	u	\$ 0,75	\$ 0,75
4	Flexómetro	1	u	\$ 3,00	\$ 3,00
5	Disco de desbaste	1	u	\$ 5,00	\$ 5,00
6	Cepillo de alambre (Grata)	1	u	\$ 7,00	\$ 7,00
7	Proceso oxicorte	1	u	\$ 1,50	\$ 1,50
8	Equipo de protección para soldar	1	u	\$ 22,00	\$ 22,00
9	Mano de Obra	5	horas	\$6,00	\$30,00
TOTAL DE COSTOS POR REPARACIÓN					\$ 80,25

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

La implementación del procedimiento para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento protector mediante el proceso SMAW, en juntas y superficie de un parche reparador en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica restaurado anteriormente con una plancha de acero A36. Es un proceso alternativo para prolongar la vida útil de dicho elemento.

Con la implementación de un proceso adecuado para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento duro en superficies internas de cucharones de las palas mecánicas aumentará su dureza y mejorará su resistencia al desgaste.

Se sugiere que con la implementación del proceso adecuado para la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento duro en superficies del cucharón de las palas mecánicas, se los aplique a otros elementos de dichas palas mecánicas como por ejemplo, porta uñas y cuchilla ya que estos elementos también están sometidos a desgaste por abrasión.

Además se recomienda determinar la mejor disposición y aprovechamiento durante la aplicación del electrodo AGA B84 como recubrimiento duro con otros elementos de máquina sometidos a desgaste por abrasión.

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1 Libros:

- 1.- SIDNEY, Avner. (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F.
- 2.- William Smith. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta Edición. Por Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. México.
- 3.- Pastor Mario. (2004). Introducción a la metalurgia de la soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- 4.- Henry Horwitz, P.E. (2002). Manual de soldadura, Aplicaciones y Práctica Tomo II. Alfaomega Grupo editor S.A. Colombia.
- 5.- ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México.
- 6.- Joseph Edward Shigley. (1985). Diseño en Ingeniería Mecánica. Tercera Edición en Español. Libros Mc Graw-Hill de México S.A
- 7.- William D. Callister, Jr. (2005). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial Reverte S.A. México.

7.2 Biblioteca Virtual UTA

8. Morela Solá Pere. (2009). Soldadura industrial: procesos y aplicaciones. (Ebrary, Biblioteca Virtual UTA).
<http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10357487&p00=proceso%20soldadura#>
9. Monsalve Gil Héctor Iván. (2006). Efecto del amperaje en las propiedades de recubrimientos duros resistentes a la abrasión aplicada por soldadura. (Ebrary, Biblioteca Virtual UTA).

<http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10127347&p00=recubrimientos%20duros>

10. Lisy Margarita León Sevilla, Juan Carlos Gutierrez Pineda, Alejandro Toro. (2006). Relación microestructura resistencia al desgaste de recubrimientos duros ricos en cromo y tungsteno aplicados por soldadura electrica (SMAW). (Ebrary, Biblioteca Virtual UTA).

<http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10127269&p00=recubrimientos%20duros>

11. Valdez Serrano, Diego. (2009). Fundición y Soldadura. (Ebrary, Biblioteca Virtual UTA).

<http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10337004&p00=soldadura>

12. Barrena Pérez, María Isabel Gómez de Salazar y Caso de los Cobos, José María. (2005). Soldadura por fusión de materiales compuestos de matriz de aluminio. (Ebrary, Biblioteca Virtual UTA).

<http://site.ebrary.com/lib/utasp/docDetail.action?docID=10089965&p00=metalografia>

7.3 Páginas Web

13. http://soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=21:protecciontra-el-desgaste-hardfacing&catid=20:investigacion-desarrollo&Itemid=70.

14. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/301/6/T-ESPE-024825-2.pdf>.

15. <http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>.

16. <http://es.scribd.com/doc/49741002/TAMANO-DE-GRANO>.

7.4 Otros

17. Norma ASTM E-111. (1975). Cálculo del Módulo de Elasticidad.
18. Ing. Silvia Infanzón. (2002).”La Calidad en la Soldadura” 3as Jornadas de Divulgación e Innovación Tecnológica, Talleres Don Bosco./pdf
19. Pedro Claudio Rodríguez. (2001) Manual de Soldadura, Soldadura Electrica, Mig y Tig, 1^{ra}. Edición./pdf
20. Catálogo INDURA/ pdf.
21. Catálogo - Manual AGA/pdf.

ANEXOS

ANEXO A.1

Platina utilizada para ensayos.

PERFILES LAMINADOS PLATINAS

Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A 36 SAE 1008
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00 m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X6	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 30X3	30	3	0.71	4.24	0.90
PLT 30X4	30	4	0.94	5.65	1.20
PLT 30X6	30	6	1.41	8.47	1.80
PLT 30X9	30	9	2.12	12.71	2.70
PLT 30X12	30	12	2.83	16.95	3.60
PLT 38X3	38	3	0.89	5.37	1.15
PLT 38X4	38	4	1.19	7.16	1.52
PLT 38X6	38	6	1.79	11.40	2.28
PLT 38X9	38	9	2.69	16.11	3.42
PLT 38X12	38	12	3.58	21.48	4.56
PLT 50X3	50	3	1.18	7.08	1.50
PLT 50X4	50	4	1.58	9.42	2.00
PLT 50X6	50	6	2.26	14.16	3.00
PLT 50X9	50	9	3.53	21.20	4.50
PLT 50X12	50	12	4.71	28.26	6.00
PLT 65X6	65	6	3.06	18.37	3.90
PLT 65X9	65	9	4.59	27.55	5.85
PLT 65X12	65	12	6.12	36.73	7.80
PLT 75X6	75	6	3.53	21.20	4.50
PLT 75X9	75	9	5.30	31.80	6.75
PLT 75X8	75	8	7.07	28.26	9.00
PLT 75X12	75	12	7.07	42.39	9.00
PLT 100X6	100	6	4.71	28.26	6.00
PLT 100X8	100	8	7.07	37.68	9.00
PLT 100X9	100	9	7.07	43.00	9.00
PLT 100X12	100	12	9.42	58.00	12.00
PLT 120X12	120	12	67.82	67.82	14.40
PLT 150X15	150	15	105.88	105.88	22.50
PLT 150X20	150	20	145.44	145.00	30.00



Fuente: Catálogo Dipac.

ANEXO A.2

Composición y propiedades del acero ASTM A36



ACERO ESTRUCTURAL USO CONSTRUCCION

Calidad del Acero Norma ASTM A 36 / A 36M-94

Tolerancias Dimensionales Norma ASTM A6/A6M-94 y EN 10163/2-91

Normas Americanas ASTM

Composición química

Designación ASTM	Grade	Espesor (mm)	C (Máx)	Mn	P (Max)	S (Max)	Si
A 36 / A 36 M - 94	-	< 20	0.25	-	0.04	0.05	0.40 (max)
	-	20 - 40	0.24	0.80 - 1.20	0.04	0.05	0.40 (Max)
	-	40 - 65	0.26	0.80 - 1.20	0.04	0.05	0.15 - 0.40
	-	65 - 100	0.27	0.85 - 1.20	0.04	0.05	0.15 - 0.40
A 283 / A 283 M - 93	C	< 40	0.24	0.90 (Max)	0.035	0.04	0.40 (Max)
	C	>40	0.24	0.90 (Max)	0.034	0.04	0.15 - 0.40
A 529 / A 529M - 94	50		0.27	1.35 (Max)	0.040	0.05	0.40 (Max)
A 573 / A 573M - 93	70	<13	0.27	0.85 - 1.20	0.035	0.04	0.15 - 0.40
	0	13 - 40	0.28	0.85 - 1.20	0.035	0.04	0.15 - 0.40

Normas Americanas ASTM

Propiedades Mecánicas

DESIGNACION ASTM	Grade	Lim. elástico (N/mm)	Resist. a Tracción (Rm)	Alargamiento (Min)		Resiliencia (Min)	
		Min MPa.	Mpa.	%		C°	J
				8"	2"		
A36 / A 36M - 94	-	250	400 - 550	20	23	-	-
A 283 / A 283M - 93	C	205	380 - 515	22	25	-	-
A 529 / A 529M - 94	50	345	485 - 690	18	21	-	-
A 573 / A 573M - 93	70	290	485 - 620	18	21	-	-

Fuente: www.sabimet.com

ANEXO B.1

Diseño de junta.

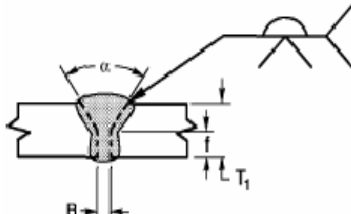
Soldadura de ranura simple en V (2) Unión a tope (B)									
									
Proceso de Soldadura	Designación de la unión	Espesor del metal base (U= ilimitado)		Penetración de la ranura			Posiciones de soldaduras permitidas	Gas protegido para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz Superficie de la raíz Angulo de la ranura	Tolerancias				
					Según detalle (Ver 3.13.1)	Según tal como queda (Ver 3.13.1)			
SMAW	B-U2	U	-	R=0 a 1/8 f= 0 a 1/8 $\alpha= 60^\circ$	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 no limitado +10°, -5°	Todas	-	4, 5, 10
GMAW FCAW	B-U2-GF	U	-	R=0 a 1/8 f= 0 a 1/8 $\alpha= 60^\circ$	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 no limitado +10°, -5°	Todas	No requerido	1, 4, 10
SAW	B-L2c-S	Más de 1/2 a 1	-	R= 0 f= 1/4 max $\alpha= 60^\circ$	R =+0 f= +0, -f $\alpha= +10^\circ, -0^\circ$	+1/16, -0 $\pm 1/16, -0$ +10°, -5°	F	-	4, 10
		Más de 1 a 1-1/2	-	R= 0 f= 1/2 max $\alpha= 60^\circ$					
		Más de 1 a 1-1/2	-	R= 0 f= 5/8 max $\alpha= 60^\circ$					

Figura 3.4 – (Continuación) (Pulgadas)

Fuente: Norma AWS D1.1 en Español. (2002). código de soldaduras en estructuras de acero.

ANEXO C.1

Electro AWS E-6011

ELECTRODO CELULÓSICO

C - 13	Norma:	AWS	E 6011
---------------	--------	-----	--------

Color de Revestimiento: Blanco	Identificación: Punta Azul
--------------------------------	----------------------------

Análisis del Metal Depositado:	C	0.08-0.12%	Mn	0.4-0.6%	Si	0.25%
--------------------------------	---	------------	----	----------	----	-------

*Valores típicos

Características: Electrodo del tipo celulósico, para soldaduras de penetración. El arco es muy estable, potente y el material depositado de solidificación rápida, fácil aplicación con corriente continua y alterna. Los depósitos son de alta calidad en cualquier posición.

Aprobación: AMERICAN BUREAU OF SHIPPING

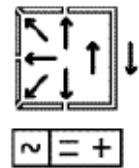
Propiedades Mecánicas:	Resistencia a la Tracción	Elongación	Resistencia al Impacto
	48-51 kg / mm ²	24-26%	CHARPY - V
	68.000 a		Joules
	72.000 lbs./pulg ²		55 - 75 (-29°C)

*Valores típicos

Posiciones de Soldar: Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente

Corriente y polaridad:

Para corriente alterna o continua Electrodo al polo positivo		
ømm	øPulg.	Amperaje
2.50	3/32	70- 90
3.20	1/8	90-120
4.00	5/32	120-150
5.00	3/16	150-180



- Aplicaciones:**
- Soldadura para aceros no templables (aceros dulces).
 - Carpintería metálica.
 - Estructuras y bastidores para máquinas.
 - Chapas gruesas y delgadas

LARGO: 350 mm.

PESO POR CAJA: 20 kg./44 lbs.

ANEXO C.2

Electro AWS E-7018

ELECTRODO BASICO BAJA ALEACIÓN

B - 10 Norma:

AWS	E 7018
-----	--------

Color de Revestimiento: Gris Identificación: Punta Blanca

C	0.08%	Mn	1.0%	Si	0.6%
---	-------	----	------	----	------

Análisis del Metal Depositado: *Valores típicos

Características: 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:

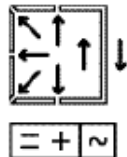
Resistencia a la Tracción	Elongación	Resistencia al Impacto
54-57 kg/mm ²	30 - 34%	CHARPY-V
76.000		Joules
81.000 lbs/pulg ²		70 - 90 (-29°C)

*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.

ANEXO C.3

Electrodo AGA B84.

ELECTRODO PARA RECUBRIMIENTO PROTECTOR

B - 84

Color de Revestimiento: Gris	Identificación: Punta Roja
------------------------------	----------------------------

Análisis del
Metal Depositado:

C	Mn	Si	Cr	Mo	V
0.5%	0.3%	0.7%	7%	0.5%	0.5%

*Valores típicos

Características:

AGAB - 84 es un electrodo para revestimiento duro sobre aceros aleados y aceros al carbono. Los cordones de superficie lisa y libre de grietas y poros depositan un material tenaz y resistente a la abrasión y mediano impacto. Fácil de soldar en todas las posiciones, excepto en vertical descendente.

Propiedades Mecánicas: Dureza de 55 a 60 HRc (dos capas)

Posiciones de Soldar: Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente.

Corriente y Polaridad:

Para corriente alterna o continua Electrodo al polo positivo		
ø mm.	ø Pulg.	Amperaje
3.20	1/8	100-130
4.00	5/32	120-160
5.00	3/16	180-220



Aplicaciones:

- Ideal para reacondicionar equipos de canteras, pilotajes, perforación
- Rodillos de laminación
- Prensas de forjar
- Maquinaria para movimiento de tierra
- Hojas de cizallas.

LARGO: 350 mm.

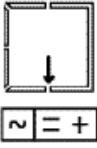
PESO POR CAJA: 20 kg/44 lbs.

ANEXO C.4

Electrodo AGA B85.

ELECTRODO PARA RECUBRIMIENTO PROTECTOR

B - 85

	Color de Revestimiento: Plomo oscuro		Identificación: Punta Azul			
Análisis del Metal Depositado:	C	4.0%	Si	0.6%	Cr	35%
Características:	*Valores típicos El revestimiento de este electrodo tiene alto contenido de cromo, lo cual hace su depósito muy resistente al desgaste por extrema abrasión, severo rozamiento y bajo impacto, aún a temperaturas elevadas y en atmósferas corrosivas. No se lo debe exponer a golpes o impactos severos.					
Propiedades Mecánicas:	Dureza de 57 a 62 HRc. (Dos capas)					
Corriente y Polaridad:	Preferible corriente alterna en corriente continua, electrodo al polo positivo					
	ø mm.	1/8"	5/32"	3/16"		
	Amp. mín.	120	170	220		
	Amp. máx.	140	190	250		
Aplicaciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrir transportadores de tornillo • Baldes de excavadoras • Dientes de escarificadoras • Bombas de dragas • Maquinaria minera • Bombas de arena 					

LARGO: 350 mm.

PESO POR CAJA: 20 kg./44 lbs.

21

Fuente: Catálogo-Manual AGA/pdf

ANEXO D

Tabla comparativa de dureza.

Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi	Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi
		C	B				C	B	
898				440	223	223	20	97	110
857				420	217	217	18	96	107
817				401	212	212	17	96	104
780	1150	70		384	207	207	16	95	101
745	1050	68		368	202	202	15	94	99
712	960	66		352	197	197	13	93	97
682	885	64		337	192	192	12	92	95
653	820	62		324	187	187	10	91	93
627	765	60		311	183	183	9	90	91
601	717	58		298	179	179	8	89	89
578	675	57		287	174	174	7	88	87
555	633	55	120	276	170	170	6	87	85
534	598	53	119	266	166	166	4	86	83
514	567	52	119	256	163	163	3	85	82
495	540	50	117	247	159	159	2	84	80
477	515	49	117	238	156	156	1	83	78
461	494	47	116	229	153	153		82	76
444	472	46	115	220	149	149		81	75
429	454	45	115	212	146	146		80	74
415	437	44	114	204	143	143		79	72
401	420	42	113	196	140	140		78	71
388	404	41	112	189	137	137		77	70
375	389	40	112	182	134	134		76	68
363	375	38	110	176	131	131		74	66
352	363	37	110	170	128	128		73	65
341	350	36	109	165	126	126		72	64
331	339	35	109	160	124	124		71	63
321	327	34	108	155	121	121		70	62
311	316	33	108	150	118	118		69	61
302	305	32	107	146	116	116		68	60
293	296	31	106	142	114	114		67	59
285	287	30	105	138	112	112		66	58
277	279	29	104	134	109	109		65	56
269	270	28	104	131	107	107		64	56
262	263	26	103	128	105	105		62	54
255	256	25	102	125	103	103		61	53
248	248	24	102	122	101	101		60	52
241	241	23	100	119	99	99		59	51
235	235	22	99	116	97	97		57	50
229	229	21	98	113	95	95		56	49

Fuente: Catálogo Indura/pdf.

ANEXO E.1

WPS Para el electrodo E-7018.

WPS ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Nombre de la Empresa:			UTA			Identificación N°:		01		
Proceso(s) de Soldadura:			SMAW			Soporte del PQR N°:		--		
Tipo:	Manual	X	Semiautomático		Automático	Revisión:.....	Fecha: 10/09/2012	Por: Telenchana J.L		
Soldador:			Telenchana J.L			Autorizado por:		Ing. Mg. Henry Vaca		
DISEÑO DE UNIÓN					POSICIÓN					
Tipo de unión: A tope Tipo de soldadura: Ranura en V Simple: X Doble:.... Abertura de raíz: 3mm Longitud de cara de raíz: 3mm Ángulo de ranura: 60° Radio: (J/U) Soporte: Si: No: X Material del aporte:.....-..... Limpieza de raíz: Si: X No: Método: Esmeril					Ranura: 1G Filete:-..... Plancha: X Tubería:-.....					
METAL BASE					CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS					
					MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW) N/A Corto circuito Globular Spray					
					Corriente Proceso SMAW: AC: DCEP: X Pulso: DCEN					
METAL DE APORTE					TÉCNICA					
Grupo:		MB1		MB2		Aportación:		Recta: Oscilante: X		
Especificación del acero:		ASTM		ASTM		Pase:		Simple: Múltiple: X		
Tipo o Grado:		A36		A36		Limpieza entre pase:		Si: X No: Método: Esmeril		
Espesor de Plancha:		12.5mm		12.5mm						
Diámetro (tubería)		--		--						
METAL DE APORTE					PRECALENTAMIENTO					
Especificación AWS:		A 5.1			Temperatura de precalentamiento:		N/A			
Clasificación AWS		E6011, E7018			Temperatura de interpase:		N/A			
Marca:		AGA			POSCALENTAMIENTO					
Tamaño del electrodo:		3.2mm			Temperatura:		N/A			
PROTECCIÓN					Tiempo:		N/A			
Fundente: Revestimiento Gas: -- Composición: -- Velocidad de flujo: -- Tamaño de la boquilla: --					Observaciones:		El último pase en el cordón de soldadura se lo maquinara.			
Detalles de la Unión y Secuencia de Soldadura										
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		CORRIENTE			Velocidad de Avance (mm/min)	Técnica de Soldadura	
			Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (Volt)		Oscilante	Recto
1	SMAW		E-6011	3,2	CA.CC.EP.	120	35	172		X
2	SMAW		E-7018	3,2	CA.CC.EP.	150	35	172	X	
3	SMAW		E-7018	3,2	CA.CC.EP.	150	35	172	X	
4	SMAW		E-7018	3,2	CA.CC.EP.	150	35	172	X	
ELABORADO POR: Egdo. Telenchana José Luis						FECHA: 10/09/2012				
APROBADO POR: Ing.Mg. Henry Vaca						COMPAÑÍA: N/A				

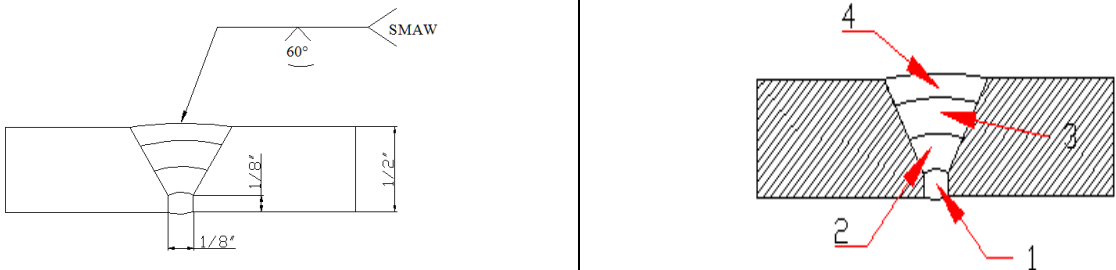
ANEXO E.2

WPS Para el electrodo AGA B84.

WPS ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Nombre de la Empresa:			UTA		Identificación N°:			01		
Proceso(s) de Soldadura:			SMAW		Soporte del PQR N°:			--		
Tipo:	Manual	X	Semiautomático	Automático	Revisión:..... Fecha: 10/09/2012			Por: Telenchana J.L		
Soldador:			Telenchana J.L		Autorizado por:			Ing. Mg. Henry Vaca		
DISEÑO DE UNIÓN					POSICIÓN					
Tipo de unión: A tope Tipo de soldadura: Ranura en V Simple: X Doble:.... Abertura de raíz: 3mm Longitud de cara de raíz: 3mm Ángulo de ranura: 60° Radio: (J/U) Soporte: Si: No: X Material del aporte:..... Limpieza de raíz: Si: X No: Método: Esmeril					Ranura: 1G Filete: Plancha: X Tubería:					
METAL BASE					CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS					
					MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW) N/A Corto circuito Globular Spray					
					Corriente Proceso SMAW: AC: DCEP: X Pulso: DCEN					
METAL DE APORTE					TÉCNICA					
Grupo:		MB1		MB2		Aportación:		Recta: Oscilante: X		
Especificación del acero:		ASTM		ASTM		Pase:		Simple: Múltiple: X		
Tipo o Grado:		A36		A36		Limpieza entre pase:		Si: X No: Método: Esmeril		
Espesor de Plancha:		12.5mm		12.5mm						
Diámetro (tubería)		--		--						
METAL DE APORTE					PRECALENTAMIENTO					
Especificación AWS:		A 5.1			Temperatura de precalentamiento:			N/A		
Clasificación AWS		E6011, (AGA B84)			Temperatura de interpase:			N/A		
Marca:		AGA			POSCALENTAMIENTO					
Tamaño del electrodo:		3.2mm			Temperatura:			N/A		
PROTECCIÓN					Observaciones:					
Fundente: Revestimiento Gas: -- Composición: -- Velocidad de flujo: -- Tamaño de la boquilla: --					El último pase en el cordón de soldadura se lo maquinara.					
Detalles de la Unión y Secuencia de Soldadura										
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		CORRIENTE			Velocidad de Avance (mm/min)	Técnicas de Soldadura	
			Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (Volt)		Oscil ante	Recto
1	SMAW		E-6011	3,2	CA.CC.EP.	120	35	172		
2	SMAW		E-7018	3,2	CA.CC.EP.	150	35	150	X	X
3	SMAW		E-7018	3,2	CA.CC.EP.	150	35	150	X	
4	SMAW		AGA B84	3,2	CC.CA.EP.	130	35	150	X	
ELABORADO POR: Egdo. Telenchana José Luis					FECHA: 10/09/2012					
APROBADO POR: Ing. Mg. Henry Vaca					COMPAÑÍA: N/A					

ANEXO E.3

WPS Para el electrodo AGA B85.

WPS ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Nombre de la Empresa:			UTA			Identificación N°:		01		
Proceso(s) de Soldadura:			SMAW			Soporte del PQR N°:		--		
Tipo:	Manual	X	Semiautomático		Automático	Revisión:.....	Fecha:	10/09/2012	Por:	Telenchana J.L
Soldador:			Telenchana J.L			Autorizado por:		Ing. Mg. Henry Vaca		
DISEÑO DE UNIÓN					POSICIÓN					
Tipo de unión: A tope Tipo de soldadura: Ranura en V Simple: X Doble:.... Abertura de raíz: 3mm Longitud de cara de raíz: 3mm Ángulo de ranura: 60° Radio: (J/U) Soporte: Si: No: X Material del aporte:.....-..... Limpieza de raíz: Si: X No: Método: Esmeril					Ranura: 1G Filete:-..... Plancha: X Tubería:-.....					
METAL BASE					CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS					
					MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW) N/A Corto circuito Globular Spray Corriente Proceso SMAW: AC: DCEP: X Pulso: DCEN					
Grupo:	1		1		TÉCNICA					
Especificación del acero:	ASTM		ASTM		Aportación:		Recta:	Oscilante: X		
Tipo o Grado:	A36		A36		Pase:		Simple:	Múltiple: X		
Espesor de Plancha:	12.5mm		12.5mm		Limpieza entre pase:		Si: X No:	Método: Esmeril		
Diámetro (tubería)	--		--		PRECALENTAMIENTO					
METAL DE APORTE					Temperatura de precalentamiento:		N/A			
Especificación AWS:	A 5.1, A5.21				Temperatura de interpase:		N/A			
Clasificación AWS	E6011, (AGA B85)				POSCALENTAMIENTO					
Marca:	AGA				Temperatura:		N/A			
Tamaño del electrodo:	3.2mm				Tiempo:		N/A			
PROTECCIÓN					Observaciones:		El último pase en el cordón de soldadura se lo maquinara.			
Fundente: Revestimiento Gas: -- Composición: -- Velocidad de flujo: -- Tamaño de la boquilla: --					Detalles de la Unión y Secuencia de Soldadura 					
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		CORRIENTE			Velocidad de Avance (mm/min)	Técnicas de Soldadura	
			Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (Volt)		Oscilante	Recto
1	SMAW		E-6011	3,2	CA.CC.EP	120	35	172		
2	SMAW		E-7018	3,2	CA.CC.EP	150	35	130	X	X
3	SMAW		E-7018	3,2	CA.CC.EP	150	35	130	X	
4	SMAW		AGA B85	3,2	CA.CC.EP	140	35	130	X	
ELABORADO POR: Egdo. Telenchana José Luis						FECHA:10/09/2012				
APROBADO POR: Ing. Mg. Henry Vaca						COMPAÑÍA:N/A				

Extracto de la Norma AWS -B4.0:2007 (Standard Methods for Mechanical Testing of Welds).

Standard Methods for Mechanical Testing of Welds

1. Scope

This specification establishes standard methods for mechanical testing of welds. The significance of each test, test apparatus, preparation of the test specimens, and the test procedure are described. Example test results sheets are provided.

It is beyond the scope of this document to define the required mechanical properties or acceptance criteria for the weld metal.

This standard makes sole use of U.S. Customary Units. Approximate mathematical equivalents in the International System of Units (SI) are provided for comparison in parentheses or in appropriate columns in tables and figures.

Safety and health issues and concerns are beyond the scope of this standard and therefore are not fully addressed herein. Safety and health information is available from other sources, including, but not limited to, ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*, and applicable federal, state, and local regulations.

2. Normative References

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute mandatory provisions of this AWS standard. For undated references, the latest edition of the referenced standard shall apply. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply.

AWS documents:¹

AWS A1.1, *Metric Practice Guide for the Welding Industry*;

¹ AWS standards are published by the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

AWS A2.4, *Standard Symbols for Welding, Brazing and Nondestructive Examination*; and

AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying*.

3. Terms and Definitions

The welding terms used in this standard are in accordance with AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions, Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying*.

4. Tension Tests

4.1 Scope. This clause covers the tension testing of welded joints. It does not specify required properties or acceptance criteria. When this standard is used as a portion of specification for a welded structure or assembly or for qualification, the following information shall be furnished:

- (1) The specific type(s) and number of specimens required,
- (2) Base metal specification/identification,
- (3) Filler material specification/identification,
- (4) The anticipated property values and whether they are maximum or minimum requirements,
- (5) Location and orientation of the specimens,
- (6) Report form when required, and
- (7) Postweld thermal or mechanical processing treatments, as applicable.

This standard is applicable to the following, when specified:

- (1) Qualification of materials and welding procedures where specified mechanical properties are required,

(2) Information as a basis for acceptance and manufacturing quality control where mechanical properties are requested, and

(3) Research and development.

4.2 Normative References. The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute mandatory provisions of this test. For undated references, the latest edition of the referenced standard shall apply. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply.

ASME Documents:²

ASME B46.1, *Surface Texture, Surface Roughness, Waviness and Lay*

ASTM Documents:³

ASTM E 4, *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*

ASTM E 8, *Standard Methods for Tension Testing of Metallic Materials*

ASTM B 557, *Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium Alloy Products*

4.3 Definitions and Symbols. For the purposes of this test, the following definitions and symbols apply:

- A* = length of reduced section
- B* = length of end section
- C* = dimension of grip section
- D* = diameter
- D_o* = original diameter
- D_f* = final diameter
- E* = length of shoulder and fillet
- F* = diameter of shoulder
- G* = gage length
- ID* = inner diameter
- OD* = outer diameter
- L* = overall length
- P* = load
- R* = radius of fillet specimen
- T* = thickness thickness of test
- t* = weldment specimen width
- W* =

² ASME standards are published by the American Society of Mechanical Engineers, 345 East 47th Street, New York, NY 10017.

³ ASTM standards are published by the American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.

π = ratio of the circumference of a circle to its diameter having a value to five decimal places of 3.14159

4.4 Summary of Method. Tension testing of welded joints is done by means of a calibrated testing machine and devices following the procedures described in 4.8.

4.5 Significance. Tension tests provide information on the load bearing capacities, joint design, and ductility of welded joints.

4.5.1 The data obtained from tension tests may include:

- (1) Ultimate tensile strength,
- (2) Yield strength,
- (3) Yield point if it occurs,
- (4) Percent elongation,
- (5) Percent reduction of area,
- (6) Stress-strain diagram, and
- (7) Location and mode of fracture.

4.5.2 Tension tests provide quantitative data that can be compared and analyzed for use in the design and analysis of welded structures. Fracture surfaces may also provide information on the presence and effects of discontinuities such as incomplete fusion, incomplete joint penetration, porosity, inclusions, and cracking.

4.6 Apparatus. The test shall be performed on a tensile testing machine in conformance with the requirements of ASTM E 8, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. The machine shall be calibrated in accordance with ASTM E 4, *Standard Practices for Force Verification of Testing Machines*.

4.7 Specimens

4.7.1 Test specimen type shall be specified by the applicable code, specification, or fabrication document. It is recommended that test specimens that provide the largest cross-sectional area be tested within the capabilities of available test equipment.

4.7.2 Unless otherwise stated, specimens shall be tensile tested in the as-received condition.

4.7.3 Round Tension Test Specimens. The specimen having the largest diameter of those shown in Figure 4.1, that can be machined from the material shall be tested.

4.7.3.1 Round All-Weld-Metal Specimen. The all-weld metal tension specimen is used for evaluation of the deposited weld metal ultimate tensile strength, yield strength, elongation, and reduction in area. When base metal dilution must be minimized for the specimen to be

representative of weld metal, the groove faces may be buttered with the same filler materials to be used in the weld joint or alternatively the root opening may be increased by 1/4 in (6 mm). The reduced section of the tension specimens between the gage marks shall be located so that no buttering is included. It is recommended that the surface of the reduced section of the specimen be at least 1/8 in (3 mm) from the fusion line along the bevel faces (see Figure 4.1).

4.7.3.2 Round Transverse Weld Specimen. The transverse weld specimen is used together with the base metal or all weld metal tension tests to evaluate joint efficiency. Only the ultimate tensile strength is normally determined for specimens taken transverse to the centerline of the weld. In the event of use of a set of round transverse tensile specimens at various locations in the thickness of the weld specimen, when no other governing specification indicates otherwise, the results of the set of round transverse tensile specimens shall be averaged to approximate the tensile properties of the full thickness joint.

4.7.4 Rectangular Tension Test Specimen. The tension specimens for welded butt joints other than pipe or tubing shall be either transverse weld tension specimens or longitudinal weld tension specimens that comply with Figure 4.2 or 4.3. When thickness of the test weldment is beyond the capacity of the available test equipment, the weld shall be divided through its thickness into as many specimens as required to cover the full weld thickness and still maintain the specimen size within the test equipment capacity. Unless otherwise specified, the results of the partial thickness specimens shall be averaged to determine the properties of the full thickness joint. Only ultimate tensile strength is normally determined in specimens taken transverse to the centerline of the weld.

4.7.5 Tubular Tension Test Specimen. Two types of specimens are used in determining the tensile properties of welded tubular products.

4.7.5.1 For pipe or tubing larger than 3 in (76 mm) nominal diameter, the reduced rectangular section specimen may be used. The reduced rectangular section specimen shall comply with Figure 4.4.

4.7.5.2 The full section specimen may be used to test weld joints in pipe or tubing 3 in (76 mm) or less nominal diameter and may be used for larger sizes subject to limitations of testing equipment. The full section specimen shall comply with Figure 4.5.

4.7.5.3 Only ultimate tensile strength is normally determined in specimens taken transverse to the centerline of the weld.

4.7.6 Preparation. Excessively deep machine cuts that will cause invalid test data or that leave tears in the surface of the finished dimensions shall be avoided. The surface finish on surfaces requiring machining shall be as specified in the specimen drawings. Imperfections present within the gage length due to welding shall not be removed.

4.8 Procedure

4.8.1 The testing procedure for weld specimens shall be as specified in ASTM E 8/ASTM E 8M, *Standard Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.

4.8.2 Round Tension Specimens. Mechanical properties, namely ultimate tensile strength (UTS), yield strength at the specified offset, yield point if it occurs, elongation in a specified gage length, and reduction of area are determined for round all-weld-metal tension specimens. If a yield point is reported, it shall have been determined in accordance with ASTM E 8/ASTM E 8M. The minimum original dimension diameter shall be used for all calculations. For round transverse weld tension specimens, only ultimate tensile strength is determined, unless otherwise specified.

The ultimate tensile strength is given by:

$$\frac{\text{Maximum Load}}{\text{Original Cross-Sectional Area}} = \frac{P_{(\text{Maximum})}}{\left(\frac{\pi D_o^2}{4}\right)}$$

where

$$P_{(\text{Maximum})} = \text{maximum load, and}$$

$$D_o = \text{original diameter.}$$

The yield strength at specified offset is given by:

$$\frac{\text{Load at Specified Offset}}{\text{Original Cross-Sectional Area}} = \frac{P_{(\text{Specified Offset})}}{\left(\frac{\pi D_o^2}{4}\right)}$$

where

$$P_{(\text{Specified Offset})} = \text{load at specified offset, and}$$

$$D_o = \text{original diameter.}$$

The yield point is given by:

$$\frac{\text{Maximum Load prior to Specific Offset}}{\text{Original Cross-Sectional Area}} = \frac{P_{(yp)}}{\left(\frac{\pi D_o^2}{4}\right)}$$

where

$$P_{(yp)} = \text{maximum load prior to specific offset, and}$$

$$D_o = \text{original diameter.}$$

The percent elongation is given by:

$$\frac{\text{Final gage length} - \text{Original gage length}}{\text{Original gage length}} \times 100$$

$$= \frac{G_f - G_o}{G_o} \times 100$$

where

G_f = final gage length, and
 G_o = original gage length.

The percent reduction of area is given by:

$$\frac{(\text{Original Diameter})^2 - (\text{Final Diameter})^2}{(\text{Original Diameter})^2} \times 100$$

$$= \frac{D_o^2 - D_f^2}{D_o^2} \times 100$$

where

D_f = final diameter, and
 D_o = original diameter.

4.8.3 Rectangular Tension Tests (Figures 4.2, 4.3, 4.4). The ultimate tensile strength calculation for rectangular tests is the following:

The ultimate tensile strength is given by:

$$\frac{\text{Maximum Load}}{\text{Original Area}} = \frac{P_{(\text{Maximum})}}{W \times T}$$

where

$P_{(\text{Maximum})}$ = maximum load,
 W = original width, and
 T = original thickness.

4.8.4 Tubular Tension Tests. The ultimate tensile strength calculation for reduced section (Figure 4.4) is the same as shown in 4.8.3. The ultimate tensile strength calculation for full section (Figure 4.5) is as follows:

The ultimate tensile strength is given by:

$$\frac{\text{Maximum Load}}{\text{Original Area}} = \frac{P_{(\text{Maximum})}}{\frac{\pi}{4} \times (OD^2 - ID^2)}$$

where

$P_{(\text{Maximum})}$ = maximum load,
 OD = original outside diameter, and
 ID = original inside diameter.

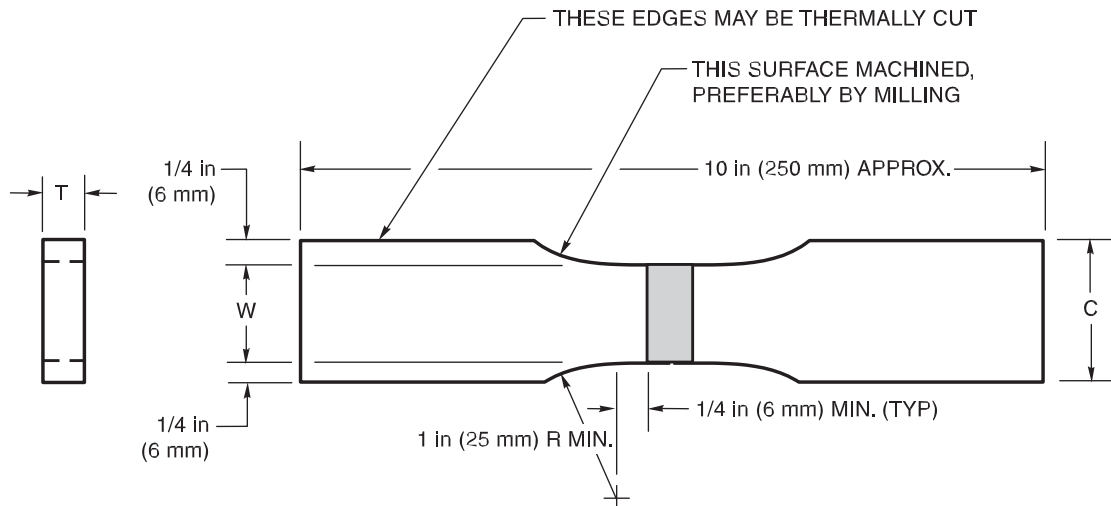
4.9 Report. In addition to the requirements of applicable documents, the report shall include the following:

- (1) Base metal specification,
- (2) Filler metal specification,
- (3) Welding procedure (process and parameters),
- (4) Specimen type,
- (5) Joint geometry,
- (6) Location of fracture and type of failure (ductile or brittle),
- (7) Calculated ultimate tensile strength, and
- (8) Any observation of unusual characteristics of the specimens or procedure.

In addition, the report for round all-weld-metal specimens shall contain the following:

- (1) Yield strength at the specified offset,
- (2) Yield point if it occurs,
- (3) Percent elongation in the specified gage length, and
- (4) Percent reduction of area.

4.10 Commentary. Descriptions of two tensile specimens are included in this document, one with a 4:1 ratio of gage length to diameter and one with a 5:1 ratio of gage length to diameter. Users are cautioned that calculated values of elongation for a given material will differ when tested using specimens with different ratios of gage length to specimen diameter.



T	W
<1 in (25 mm)	1.50 in ± 0.01 in (38 mm ± 0.25 mm)
≥1 in (25 mm)	1.00 in ± 0.01 in (25 mm ± 0.25 mm)

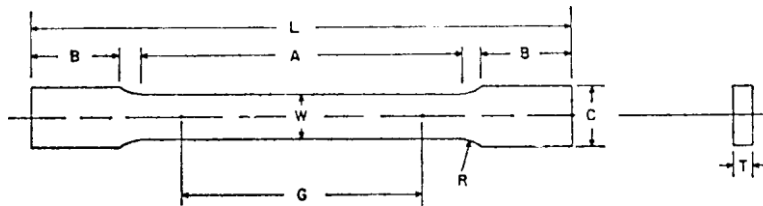
Notes:

1. Thin base metal being tested tends to tear and break near the shoulder. In such cases, dimension C shall be no greater than 1-1/3 times the width of the reduced section.
2. Weld reinforcement and backing strip, if any, shall be removed flush with the surface of the specimen.
3. When the thickness, t, of the test weldment is such that it would not provide a specimen within the capacity limitations of the available test equipment, the specimen shall be parted through its thickness into as many specimens as required.
4. The length of reduced sections shall be equal to the width of the widest portion of weld, plus 1/4 in (6 mm) minimum on each side.
5. All surfaces in the reduced section shall be no rougher than 125 microinches (3 micrometers) R_a .
6. Narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases, the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits. If the width of the material is less than W, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

Figure 4.2—Transverse Rectangular Tension Test Specimen (Plate)

ANEXO F.1.1

Extracto de la Norma ASTM E8 - 01 (Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹).



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 1½-in. Wide	Sheet-Type, ½-in. Wide	¼-in. Wide
	in.	in.	in.
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	8.00± 0.01	2.000± 0.005	1.000 ± 0.003
W—Width (Note 3 and Note 4)	1½ + ⅛, - ¼	0.500± 0.010	0.250 ± 0.005
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	1	½	¼
L—Over-all length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	18	8	4
A—Length of reduced section, min	9	2¼	1¼
B—Length of grip section, (Note 8)	3	2	1¼
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	2	¾	¾

NOTE 1—For the 1½-in. wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 1 in. apart, or one or more pairs of punch marks 8 in. apart may be used.

NOTE 2—When elongation measurements of 1½-in. wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 2¼ in. may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004, 0.002 or 0.001 in., respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 0.015, 0.005, or 0.003 in., respectively, larger than the width at the center.

NOTE 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used.

NOTE 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 1½-in. wide specimens shall be 3/16 in. Maximum thickness of ½-in. and ¼-in. wide specimens shall be 3/4 in. and ¼ in., respectively.

NOTE 6—For the 1½-in. wide specimen, a ½-in. minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 100 000 psi in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

NOTE 7—The dimension shown is suggested as a minimum. In determining the minimum length, the grips must not extend in to the transition section between Dimensions A and B, see Note 9.

NOTE 8—To aid in obtaining axial force application during testing of ¼-in. wide specimens, the over-all length should be as large as the material will permit, up to 8.00 in.

NOTE 9—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of ½-in. wide specimens is over 3/8 in., longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10—For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 0.10, 0.05 and 0.005 in., respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the ½-in. wide specimen shall be symmetrical within 0.01 in.

NOTE 11—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 0.05 in., and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.10 in.

NOTE 12—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2W from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. In acceptance testing, if the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 1 Rectangular Tension Test Specimens

condition which can deleteriously affect the properties to be measured.

NOTE 7—Punching or blanking of the reduced section may produce significant cold work or shear burrs, or both, along the edges which should be removed by machining.

6.1.3.2 Within the reduced section of rectangular specimens, edges or corners should not be ground or abraded in a manner which could cause the actual cross-sectional area of the specimen to be significantly different from the calculated area.

6.1.3.3 For brittle materials, large radius fillets at the ends of the gage length should be used.

6.1.3.4 The cross-sectional area of the specimen should be smallest at the center of the reduced section to ensure fracture within the gage length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens described in the following sections.

6.1.4 Specimen Surface Finish—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface

ANEXO F.2

Extracto de la Norma ASTM E-111 (Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus).

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
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers³
- E 231 Method for Static Determination of Young's Modu-

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)e¹.

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.

lus of Metals at Low and Elevated Temperatures⁴

2.2 *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).

3.1.4.2 *chord modulus*—the slope of the chord drawn between any two specified points on the stress-strain curve, below the elastic limit of the material (see Fig. 1c).

3.2 For definitions of other terms used in this test method, refer to Terminology E 6.

⁴ Discontinued, see 1981 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

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 6) 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:

$$E = \left(\frac{\Delta_p}{A_o} \right) \left(\frac{\Delta_c}{L_o} \right) \quad (1)$$

where:

- D_p = load increment,
- A_o = original cross-sectional area,
- D_c = extension increment, and
- L_o = original gage length.

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:

$$\text{Young's modulus, } E = (\Sigma (XY) - K\bar{X}\bar{Y}) / (\Sigma X^2 - K\bar{X}^2) \quad (2)$$

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:

$$r^2 = \left(\left[\Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{K} \right]^2 \right) / \left(\left[\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{K} \right] \left[\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{K} \right] \right) \quad (3)$$

Values of r^2 close to 1.00 are desirable (see Table 1).

NOTE 11—Many programmable calculators have built-in programs for calculating the slopes of straight lines fitted to a number of data pairs and their coefficient of determination. Details of the procedure may be found in standard textbooks on statistics or numerical analysis.^{6, 7, 8, 9}

⁶ Youden, W. J., *Statistical Methods for Chemists*, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1951, Ch. S, pp. 40–49.

⁷ Fröberg, C. E., *Introduction to Numerical Analysis*, Second Edition, Addison Wesley Publishing Co., Reading, MA, 1969, p. 335.

⁸ *Experimental Statistics*, NBS Handbook No. 91. May be obtained from Superintendent of Natrella, M.G., Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.

⁹ Bowker, A. H., and Lieberman, G. J., *Engineering Statistics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1959, pp. 331–333.

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

1

2

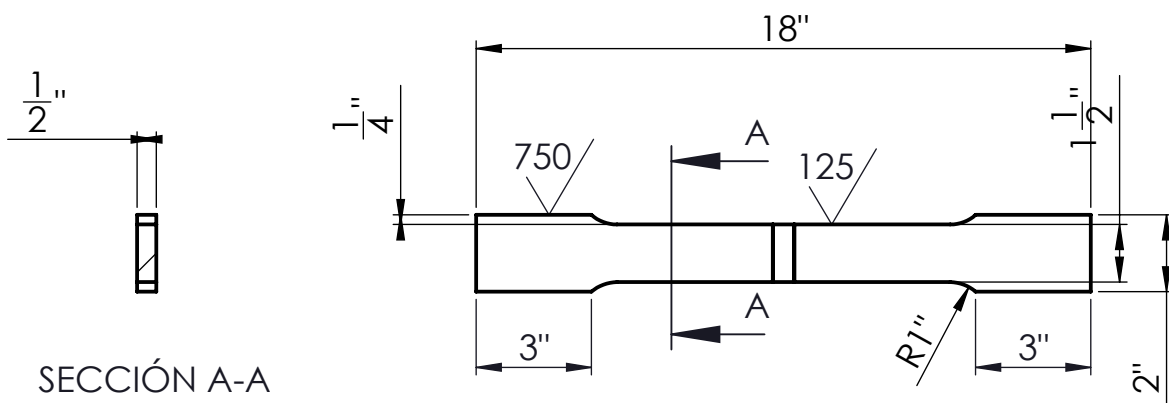
3

4

A

N8
=

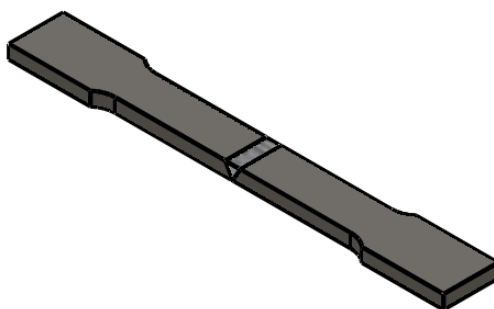
B



C

SECCIÓN A-A

D



E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM - A36	
				±0,01"	3,80 Lb		
				Fecha	Nombre	Denominación: PROBETA RECTANGULAR	Escala: 1:5
				Dib. 22/11/12	Telenchana J.L		
				Rev. 23/11/12	Ing. Henry V.		
				Apro. 23/11/12	Ing. Henry V.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 01	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Ensayos a tracción en máquina Universal.



Soldadura de probetas.



Maquinado de probetas.



Ensayo de probetas



Rotura de probetas



Probetas ensayadas

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis.

7. Fracture Toughness Tests

7.1 Scope

7.1.1 This clause covers the fracture toughness testing of weldments. Methods include the Charpy V-Notch (C_v), the Dynamic Tear (DT), the Plane-Strain Fracture Toughness (K_{Ic}), Crack Tip Opening Displacement (CTOD), and the Drop Weight Nil-Ductility Temperature (DWNNT) Tests.

7.1.2 When a fracture toughness test is required, the preparation of the weld, the test specimen, and the test methods shall conform to this standard.

7.1.3 This standard is applicable to the following when specified:

(1) For qualification of materials, welding procedures, and welding personnel where a specified level of fracture toughness is required;

(2) For information, specification of acceptance and manufacturing quality control where a minimum criterion for fracture toughness is requested. Detailed discussion of the selection of test method and a specified minimum value in a specific case is beyond the scope of this standard; and

(3) Research and development.

7.1.4 When this standard is used the following information shall be furnished:

(1) The specific types and number of specimens required,

(2) Base metal specifications/identification,

(3) Filler material specification/identification,

(4) The anticipated property values and whether they are maximum or minimum requirements,

(5) Location and orientation of the specimen and notch,

(6) Joint geometry,

(7) Test temperature, and

(8) Postweld thermal or mechanical treatments.

7.2 Normative References. The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute mandatory provisions of this test. For undated references, the latest edition of the referenced standard shall apply. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply.

ASME Documents:

ASME B46.1, *Surface Texture, Surface Roughness, Waviness and Lay*

ASTM Documents:

ASTM A 370, *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*

ASTM E 23, *Standard Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*

ASTM E 208, *Standard Method for Conducting Drop-Weight Test to Determine Nil-Ductility Transition Temperature of Ferritic Steels*

ASTM E 399, *Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness K_{Ic} of Metallic Materials*

ASTM E 604, *Standard Test Method for Dynamic Tear Testing of Metallic Materials*

ASTM E 1290, *Standard Test Method for Crack-Tip Opening Displacement (CTOD) Fracture Toughness Measurement*

ASTM E 1820, *Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness*

ASTM E 1823, *Standard Terminology Relating to Fatigue and Fracture Testing*

ASTM E 1921, *Standard Method for Determination of Reference Temperature, T_0 , for Ferritic Steels in the Transition Range.*

7.3 Summary of Method

7.3.1 The method selected for fracture toughness testing shall be that required in the specification of a material, fabrication document, or as otherwise specified.

7.3.2 Specimens shall be removed from a weldment so that the results of the test are representative of the structural performance of the weld joint.

7.4 Significance

7.4.1 Fracture toughness testing provides a measure of resistance to unstable crack extension (i.e., fracture initiation), ductile tearing, or both.

7.4.2 The welding process and welding procedure have a significant effect on the mechanical properties of a weld joint. If the fracture toughness of a weld joint sample is to be representative of its structural performance, the same welding process, procedure, and weld cooling rates as a function of distance and thickness must be used for the sample and the structure.

7.5 Apparatus

7.5.1 The apparatus for conducting the various fracture toughness tests shall be in accordance with the latest edition of the following ASTM Standard Methods:

- (1) Charpy V-notch, E 23;
- (2) Dynamic Tear, E 604;
- (3) Plane-Strain Fracture Toughness, E 399;
- (4) Drop-weight Nil-Ductility Transition Temperature, E 208;
- (5) J_{1C} , A Measure of Fracture Toughness, E 813; and
- (6) Crack-Tip Opening Displacement (CTOD) Fracture Toughness, E 1290.

7.6 Specimens

7.6.1 Sufficient information shall be provided to properly locate specimens and weld joint; the orientation of the weld joint shall also be identified.

7.6.2 Test specimens shall not contain metal that has been affected thermally as a result of cutting or preparation.

7.6.3 Unless otherwise specified, the nominal dimensions, orientation and notch location of specimens shall be that shown in Figures 7.1 through 7.6, respectively. Working drawings are provided in the referenced documents.

7.6.4 Unless otherwise specified, the weld metal width to specimen thickness relationship for the compact tension specimen shall be as shown in Figure 7.7. Weld metal test specimens shall be located in the weld joint as close to the weld face as possible to provide maximum weld metal area in the test specimens. A valid measure of the weld metal fracture toughness requires that the fracture surface be entirely within the weld metal. A different value of the fracture toughness may be obtained when the fracture surface includes the weld metal, heat-affected zone (HAZ), and base metal.

7.6.5 When an evaluation of the base metal or HAZ or both is required, the location of the notch shall be specified.

7.7 Procedure

7.7.1 Test specimen preparation and test procedure for measuring the fracture toughness of a weldment shall be in accordance with the following ASTM standard methods:

- (1) Measurement of Fracture Toughness, E 1820;

(2) Charpy V-notch, E 23, except that values up to and including 100% of the testing machine capacity shall be accepted and reported as fracture energy if the specimen breaks. The full machine capacity followed by a plus sign (+), shall be reported if the specimen is not broken. All these results may be used to calculate the average energy absorbed provided the minimum average required for acceptance is within the verified range of the machine;

- (3) Dynamic Tear, E 604;

- (4) Plane-Strain Fracture Toughness, E 399;

(5) Drop-Weight Nil-Ductility Transition Temperature, E 208;

(6) J_{1C} —A Measure of Fracture Toughness, E 1820; and

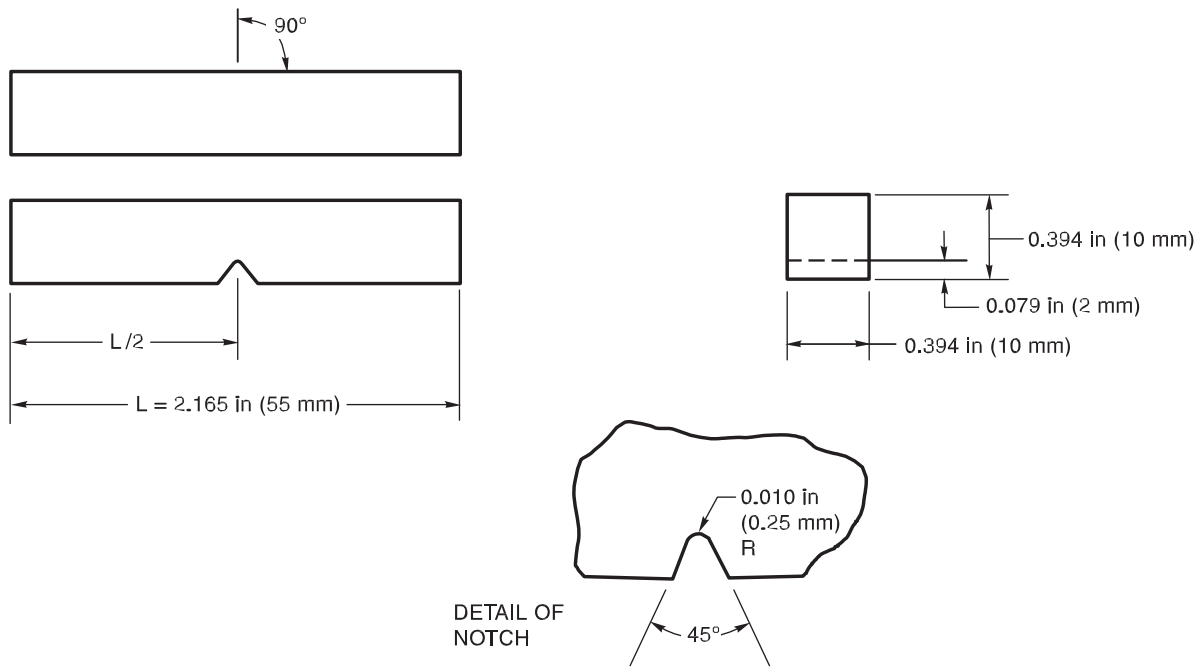
(7) Crack-Tip Opening Displacement (CTOD) Fracture Toughness, E 1290.

7.8 Report

7.8.1 In addition to the requirements of applicable documents, the report shall include the following:

- (1) Base metal specification;
- (2) Filler metal specification;
- (3) Welding procedure (process and parameters);
- (4) Joint geometry;
- (5) Specimen type;
- (6) Specimen location, crack plane orientation, and machined notch position;
- (7) Type of test equipment;
- (8) Fracture appearance and location;
- (9) Test temperature;
- (10) Energy absorbed (if applicable); and
- (11) Any observation of unusual characteristics of the specimens or procedure.

7.8.2 Test data should be recorded on a Test Results Sheet similar to Figure 7.8.



NOTE—Dimensional Tolerances shall be as follows:

Notch length to edge	90° ± 2°
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 minutes
Cross section dimensions	±0.003 in (0.076 mm)
Length of specimen (L)	+0, -0.100 in (+0, -2.5 mm)
Centering of notch (L/2)	±0.039 in (1 mm)
Angle of notch	±1°
Radius of notch	±0.001 in (0.025 mm)
Notch depth	±0.001 in (0.025 mm)
Finish requirements	63 microinches (1.5 micrometers) R _a on notched surface and opposite face; 125 microinches (3 micrometers) R _a on other two surfaces

Figure 7.1—Charpy V-Notch Impact Specimen

ANEXO F3.1

Extracto de la Norma ASTM E 23 - 01 (Standard Test Methods Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹).



Designation: E 23 – 01

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 superscripted 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), precracking 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 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320\text{ }^{\circ}\text{F}$, $77\text{ }^{\circ}\text{K}$).

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

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28-07 on impact testing.

Current edition approved April 10, 2001. Published June 2001. Originally published as E 23 – 33 T. Last previous edition E 23 – 00.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

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) an anvil or support 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

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

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.01.

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

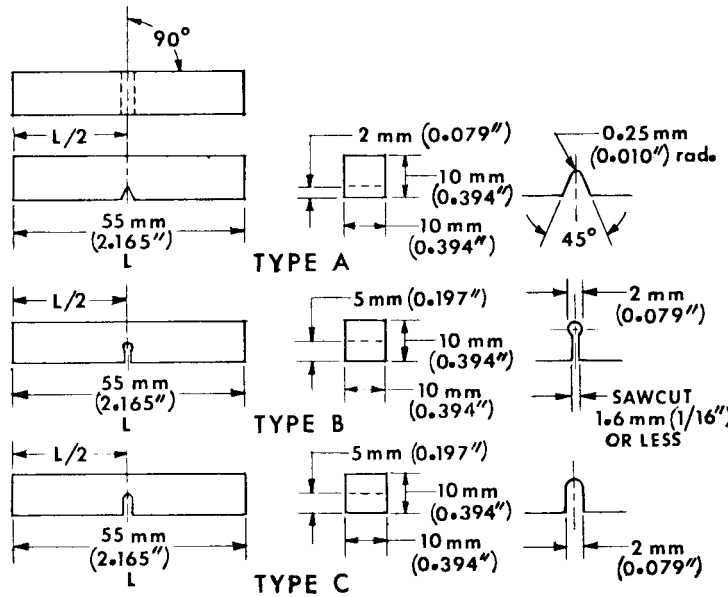
surface may be in the as-produced condition or smoothly machined, but polishing has proven generally unnecessary. Unnotched specimens are used with P/M materials. In P/M materials, the impact test results are affected by specimen orientation. Therefore, unless otherwise specified, the position of the 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.

7.2 Specimen Machining:

7.2.1 When heat-treated materials are being evaluated, the specimen shall be finish machined, including notching, after the final heat treatment, unless it can be demonstrated that the impact properties of specimens machined before heat treatment are identical to those machined after heat treatment.

7.2.2 Notches shall be smoothly machined but polishing has proven generally unnecessary. However, since variations in notch dimensions will seriously affect the results of the tests, adhering to the tolerances given in Fig. 1 is necessary (Appendix X1.2 illustrates the effects from varying notch dimensions on Type A specimens). In keyhole specimens, the round hole shall be carefully drilled with a slow feed rate. The slot may be cut by any feasible method, but care must be exercised in cutting the slot to ensure that the surface of the drilled hole opposite the slot is not damaged.

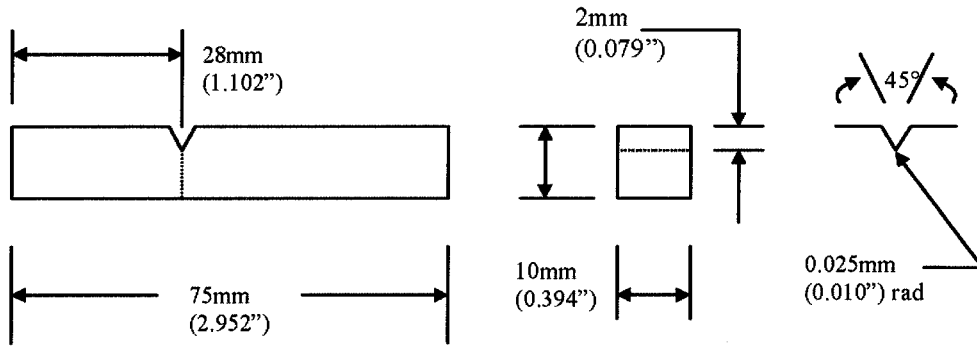


NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

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

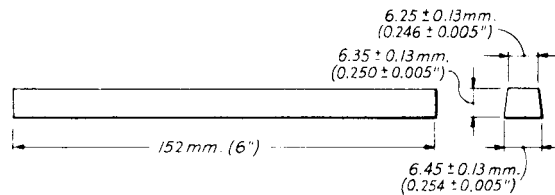
ASTM E 23



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Cross-section dimensions	±0.025 mm (±0.001 in.)
Length of specimen	+0, -2.5 mm (±0, -0.100 in.)
Angle of notch	±1°
Radius of notch	±0.025 mm (±0.001 in.)
Notch depth	±0.025 mm (±0.001 in.)
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Finish requirements	2 μm (63 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

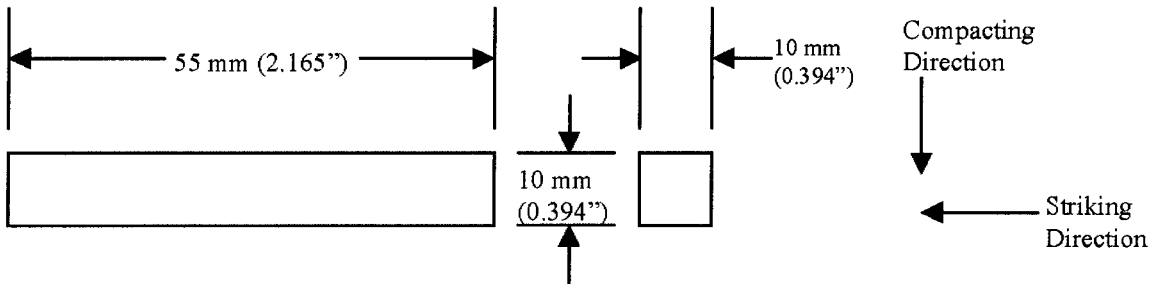
FIG. 2 Izod (Cantilever-Beam) Impact Test Specimen, Type D



NOTE 1—Two Izod specimens may be cut from this bar.

NOTE 2—Blow shall be struck on narrowest face.

FIG. 3 Izod Impact Test Bar for Die Castings Alloys



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Cross section dimensions	±0.125 mm (0.005 in.)
Length of specimen	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)

FIG. 4 Charpy (Simple Beam) Impact Test Specimens for Metal Powder Structural Parts

7.2.3 Identification marks shall only be placed in the following locations on specimens: either of the 10-mm square ends; the side of the specimen that faces up when the specimen is positioned in the anvils (see Note 1); or the side of the specimen opposite the notch. No markings, on any side of the specimen, shall be within 15 mm of the center line of the notch. An electrostatic pencil may be used for identification purposes, but caution must be taken to avoid excessive heat.

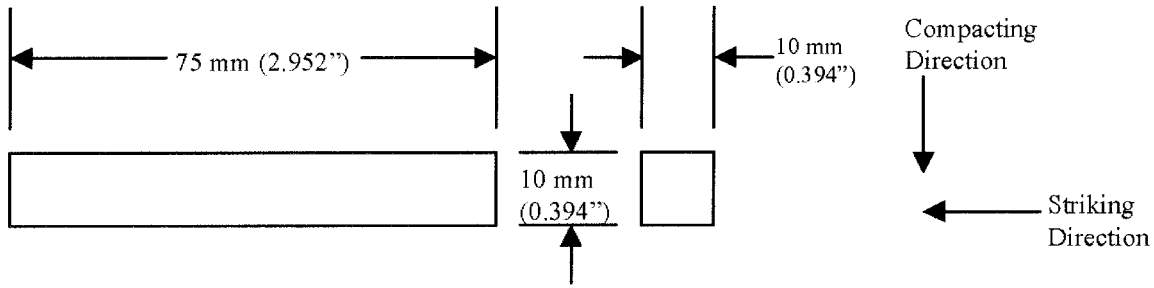
NOTE 1—Careful consideration should be given before placing identification marks on the side of the specimen to be placed up when positioned

in the anvils. If the test operator is not careful, the specimen may be placed in the machine with the identification marking resting on the specimen supports. Under these circumstances, the absorbed energy value obtained may be unreliable.

8. Procedure

8.1 Preparation of the Apparatus:

8.1.1 Perform a routine procedure for checking impact machines at the beginning of each day, each shift, or just prior to testing on a machine used intermittently. It is recommended that the results of these routine checks be kept in a log book for



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min.
Cross section dimensions	±0.125 mm (0.005 in.)
Length of specimens	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)

FIG. 5 Izod (Cantilever-Beam) Impact Test Specimen for Metal Powder Structural Parts

the machine. After the testing machine has been ascertained to comply with Annex A1 and Annex A2, carry out the routine check as follows:

8.1.1.1 Visually examine the striker and anvils for obvious damage and wear.

8.1.1.2 Check the zero position of the machine by using the following procedure: raise the pendulum to the latched position, move the pointer to near the maximum capacity of the range being used, release the pendulum, and read the indicated value. The pointer should indicate zero on machines reading directly in energy. On machines reading in degrees, the reading should correspond to zero on the conversion chart furnished by the machine manufacturer.

NOTE 2—On machines that do not compensate for windage and friction losses, the pointer will not indicate zero. In this case, the indicated values, when converted to energy, shall be corrected for frictional losses that are assumed to be proportional to the arc of swing.

8.1.1.3 To ensure that friction and windage losses are within allowable tolerances, the following procedure is recommended: raise the pendulum to the latched position, move the pointer to the negative side of zero, release the pendulum and allow it to cycle five times (a forward and a backward swing together count as one swing), prior to the sixth forward swing, set the pointer to between 5 and 10 % of the scale capacity of the dial, after the sixth forward swing (eleven half swings), record the value indicated by the pointer, convert the reading to energy (if necessary), divide it by 11 (half swings), then divide by the maximum scale value being used and multiply it by 100 to get the percent friction. The result, friction and windage loss, shall not exceed 0.4 % of scale range capacity being tested and should not change by more than 5 % of friction measurements previously made on the machine. If the friction and windage loss value does exceed 0.4 % or is significantly different from previous measurements, check the indicating mechanism, the latch height, and the bearings for wear and damage. However, if the machine has not been used recently, let the pendulum swing for 50 to 100 cycles, and repeat the friction test before undertaking repairs to the machine.

8.2 Test Temperature Considerations:

8.2.1 The temperature of testing affects the impact properties of most materials. For materials with a body centered cubic structure, a transition in fracture mode occurs over a tempera-

ture range that depends on the chemical composition and microstructure of the material. Test temperatures may be chosen to characterize material behavior at fixed values, or over a range of temperatures to characterize the transition region, lower shelf, or upper shelf behavior, or all of these. The choice of test temperature is the responsibility of the user of this test method and will depend on the specific application.

8.2.2 The temperature of a specimen can change significantly during the interval it is removed from the temperature conditioning environment, transferred to the impact machine, and the fracture event is completed (see Note 5). When using a heating or cooling medium near its boiling point, use data from the references in Note 5 or calibration data with thermocouples to confirm that the specimen is within the stated temperature tolerances when the striker contacts the specimen. If excessive adiabatic heating is expected, monitor the specimen temperature near the fracture.

8.2.3 Verify temperature-measuring equipment at least every six months. If liquid-in-glass thermometers are used, an initial verification shall be sufficient, however, the device shall be inspected for problems, such as the separation of liquid, at least twice annually.

8.2.4 Hold the specimen at the desired temperature within ± 1 °C (± 2 °F) in the temperature conditioning environment (see 8.2.4.1 and 8.2.4.2). Any method of heating or cooling or transferring the specimen to the anvil(s) may be used provided the temperature of the specimen immediately prior to fracture is essentially the same as the holding temperature (see Note 5). The maximum change in the temperature of the specimen allowed for the interval between the temperature conditioning treatment and impact is not specified here, because it is dependent on the material being tested and the application. The user of nontraditional or lesser used temperature conditioning and transfer methods (or sample sizes) shall show that the temperature change for the specimen prior to impact is comparable to or less than the temperature change for a standard size specimen of the same material that has been thermally conditioned in a commonly used medium (oil, air, nitrogen, acetone, methanol), and transferred for impact within 5 seconds (see Note 5). Three temperature conditioning and transfer methods used in the past are: liquid bath thermal

conditioning and transfer to the specimen supports with centering tongs; furnace thermal conditioning and robotic transfer to the specimen supports; placement of the specimen on the supports followed by in situ heating and cooling.

8.2.4.1 For liquid bath cooling or heating use a suitable container, which has a grid or another type of specimen positioning fixture. Cover the specimens, when immersed, with at least 25 mm (1 in.) of the liquid, and position so that the notch area is not closer than 25 mm (1 in.) to the sides or bottom of the container, and no part of the specimen is in contact with the container. Place the device used to measure the temperature of the bath in the center of a group of the specimens. Agitate the bath and hold at the desired temperature within $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 2^\circ\text{F}$). Thermally condition the specimens for at least 5 min before testing, unless a shorter thermal conditioning time can be shown to be valid by measurements with thermocouples. Leave the mechanism (tongs, for example) used to handle the specimens in the bath for at least 5 min before testing, and return the mechanism to the bath between tests.

8.2.4.2 When using a gas medium, position the specimens so that the gas circulates around them and hold the gas at the desired temperature within $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 2^\circ\text{F}$) for at least 30 min. Leave the mechanism used to remove the specimen from the medium in the medium except when handling the specimens.

NOTE 3—Temperatures up to $+260^\circ\text{C}$ ($+500^\circ\text{F}$) may be obtained with

certain oils, but flash-point temperatures must be carefully observed.

NOTE 4—For testing at temperatures down to -196°C (-320°F , 77°K), standard testing procedures have been found to be adequate for most metals.

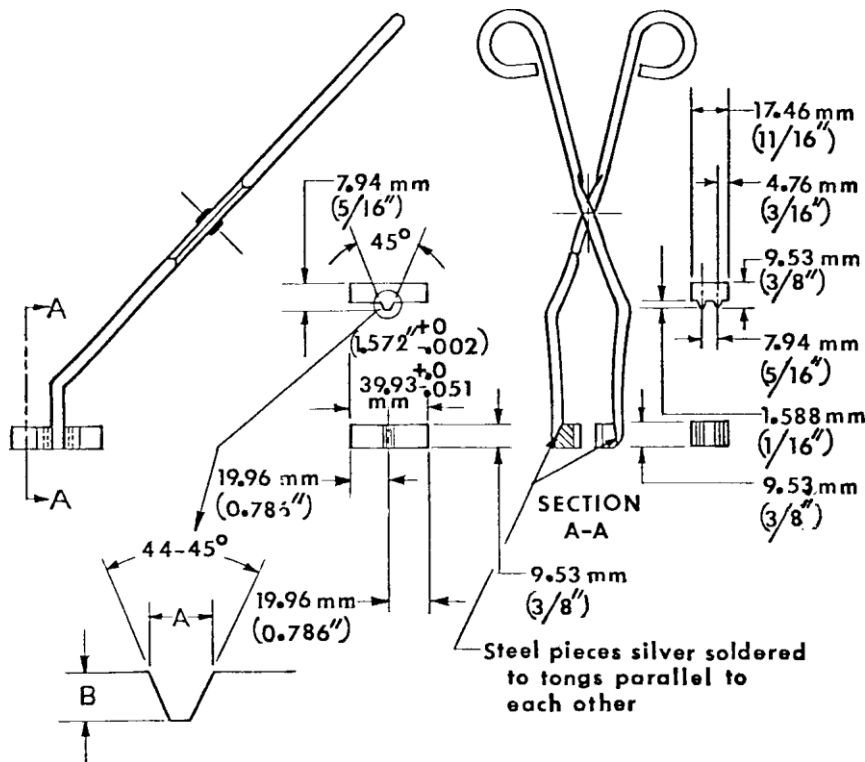
NOTE 5—A study has shown that a specimen heated to 100°C in water can cool 10°C in the 5 s allowed for transfer to the machine supports (1)⁶ Other studies, using cooling media that are above their boiling points a room temperature have also shown large changes in specimen temperature during the transfer of specimens to the machine anvils. In addition, some materials change temperature dramatically during impact testing a cryogenic temperatures due to adiabatic heating (2).

8.3 Charpy Test Procedure:

8.3.1 The Charpy test procedure may be summarized as follows: the test specimen is thermally conditioned and positioned on the specimen supports against the anvils; the pendulum is released without vibration, and the specimen is impacted by the striker. Information is obtained from the machine and from the broken specimen.

8.3.2 To position a test specimen in the machine, it is recommended that self-centering tongs similar to those shown in Fig. 6 be used (see A1.10.1). The tongs illustrated in Fig. 6 are for centering V-notch specimens. If keyhole specimens are used, modification of the tong design may be necessary. If an end-centering device is used, caution must be taken to ensure

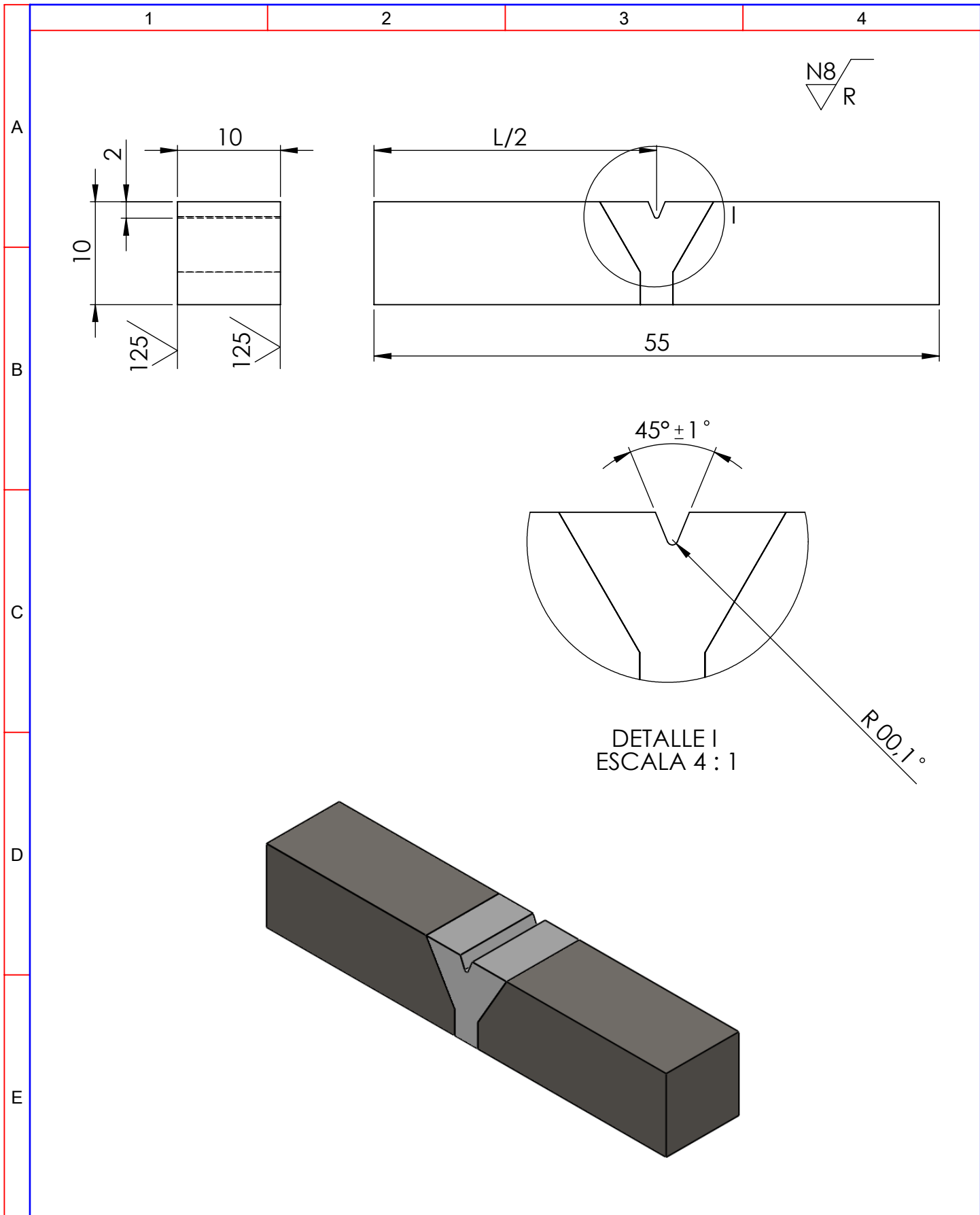
⁶ The boldface numbers given in parentheses refer to a list of references at the end of the text.



NOTE 1—Unless otherwise shown, permissible variation shall be ± 1 mm (0.04 in.).

Specimen Depth, mm (in.)	Base Width (A), mm (in.)	Height (B), mm (in.)
10 (0.394)	1.60 to 1.70 (0.063 to 0.067)	1.52 to 1.65 (0.060 to 0.065)
5 (0.197)	0.74 to 0.80 (0.029 to 0.033)	0.69 to 0.81 (0.027 to 0.032)
3 (0.118)	0.45 to 0.51 (0.016 to 0.020)	0.36 to 0.48 (0.014 to 0.019)

FIG. 6 Centering Tongs for V-Notch Charpy Specimens



N8/R

A
B
C
D
E

DETALLE I
ESCALA 4 : 1

R0.1°

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A36	
				±0,0254mm	10 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib. 21/11/12	Telenchana J.L	PROBETA CHARPY	2:1
				Rev. 23/11/12	Ing. Henry V		
				Apro. 23/11/12	Ing. Henry V		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 01	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Ensayo Charpy en máquina



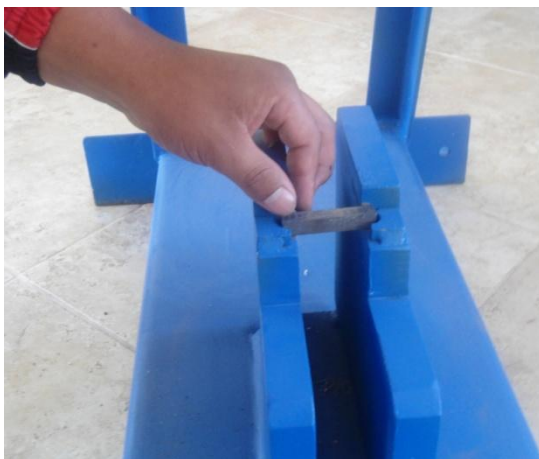
Soldadura de probetas.



Maquinado de probetas.



Máquina de ensayo Charpy



Ensayo de probetas.



Probetas ensayadas

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis

ANEXO F.4

Estracto de la Norma ASTM E 10-01 (Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials).

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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

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.

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.

$$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{See Table 1}) \quad (1)$$

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 kg/f (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.)

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.

TABLE 1 Symbols and Designations

NOTE 1—Constant = $\frac{1}{g_n} = \frac{1}{9.80665} = 0.102$

Symbol	Designation
<i>D</i>	Diameter of the ball, mm
<i>F</i>	Test force, N
<i>d</i>	Mean diameter of the indentation, mm
<i>h</i>	Depth of the indentation, mm
	$= \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
HBW	Brinell hardness
	= Constant × $\frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	$= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

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 ±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 ±3 % of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

8. Procedure

8.1 *Magnitude of Test Force*—Typically, the force in the standard Brinell test shall be 29.42 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), or 4.90 kN (500 kgf). It is recommended that the diameter of the indentation be between 24 and 60 % of the ball diameter. A lower limit in indentation diameter is necessary

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 2.5/7.812.5	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)

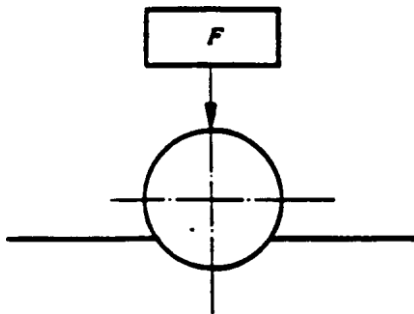


FIG. 1 Principle of Test

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

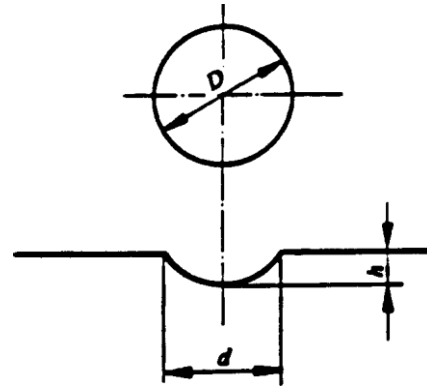


FIG. 2 Principle of Test

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

be specifically stated in the test report (see 11.1.2).

ANEXO F.5

Estracto de la Norma ASTM E 18 - 00 (Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials^{1, 2}).

Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials^{1, 2}

This standard is issued under the fixed designation E 18; 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 cover the determination of the Rockwell hardness and the Rockwell superficial hardness of metallic materials, including test methods for the verification of machines for Rockwell hardness testing (Part B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Part C).

1.2 Values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. SI units are provided for information only.

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. (See Note 5.)*

NOTE 1—The National Institute of Standards and Technology (NIST) maintains the national Rockwell hardness standards for the United States. In June 1998, NIST released new Rockwell C scale (HRC) test blocks as Standard Reference Materials (SRMs). The blocks were calibrated using NIST's primary reference standardizing machine. The major benefit of the NIST standards is that their HRC levels are in line with the other industrialized countries around the world. The NIST HRC levels establish the hardness of materials slightly harder than the historical standards used in the United States for the past 75 years. The revision of E 18 requires that all performance verifications of Rockwell hardness indenters and hardness machines must be made using test blocks calibrated traceable to the Rockwell standards maintained by NIST. This can be accomplished through the use of commercial test blocks calibrated traceable to the NIST standards or by directly using the NIST SRMs. This requirement will apply only to the Rockwell scale(s) for which NIST supplies primary reference test blocks

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 or Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.06 or Indentation Hardness Testing.

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as E 18 - 32 T. Last previous edition E 18 - 98.

² In this test method, the term Rockwell refers to an internationally recognized type of indentation hardness test as defined in Section 3, and not to the hardness testing equipment of a particular manufacturer.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

- B 19 Specification for Cartridge Brass Sheet, Strip, Plate, Bar, and Disks (Blanks)⁴
- B 36/B36 M Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 96 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes and Pressure Vessels⁴
- B 97 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes⁵
- B 103/B 103 M Specification for Phosphor Bronze Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 121/B 121 M Specification for Leaded Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 122/B 122 M Specification for Copper-Nickel-Tin Alloy, Copper-Nickel-Zinc Alloy (Nickel Silver), and Copper-Nickel Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 130 Specification for Commercial Bronze Strip for Bullet Jackets⁴
- B 134 Specification for Brass Wire⁴
- B 152 Specification for Copper Sheet, Strip, Plate, and Rolled Bar⁴
- B 291 Specification for Copper-Zinc-Manganese Alloy (Manganese Brass) Sheet and Strip⁴
- B 370 Specification for Copper Sheet and Strip for Building Construction⁴
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁶
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications⁷
- E 140 Hardness Conversion Tables for Metals⁶

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *calibration*—determination of the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.2 *Rockwell hardness number, HR*—a number derived from the net increase in the depth of indentation as the force on

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 02.01.

⁵ Discontinued, see 1981 *Annual Book of ASTM Standards*, Part 6.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁷ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

an indenter is increased from a specified preliminary test force to a specified total test force and then returned to the preliminary test force.

3.1.2.1 *Discussion—Indenters*—Indenters for the Rockwell hardness test include a diamond spheroconical indenter and steel ball indenters of several specified diameters.

3.1.2.2 *Discussion*—Rockwell hardness numbers are always quoted with a scale symbol representing the indenter and forces used. The hardness number is followed by the symbol HR and the scale designation.

3.1.2.3 *Examples*—64 HRC = Rockwell hardness number of 64 on Rockwell C scale. 81 HR30N = Rockwell superficial hardness number of 81 on Rockwell 30N scale.

3.1.3 *Rockwell hardness test*—an indentation hardness test using a verified machine to force a diamond spheroconical indenter (diamond indenter), or hard steel ball indenter under specified conditions, into the surface of the material under test in two operations, and to measure the difference in depth of the indentation under the specified conditions of preliminary and total test forces (minor and major loads, respectively).

3.1.4 *Rockwell superficial hardness test*—same as the Rockwell hardness test except that smaller preliminary and total test forces are used.

3.1.5 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

4. Significance and Use

4.1 The Rockwell hardness test is an empirical indentation hardness test. Rockwell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, and other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials.

4.2 Rockwell hardness testing at a specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product.

4.3 Rockwell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and have been used extensively in industry for this purpose.

4.4 Performance verifications of Rockwell hardness indenters and hardness machines shall be made using test blocks calibrated traceable to the Rockwell standards maintained by NIST when primary reference test blocks are available from NIST for the specific Rockwell scale.

A. GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR ROCKWELL HARDNESS AND ROCKWELL SUPERFICIAL HARDNESS TESTS

5. Principles of Test and Apparatus

5.1 *General Principles*—The general principles of the Rockwell hardness test are illustrated in Fig. 1 (diamond indenter) and Fig. 2 (ball indenters) and the accompanying Table 1 and Table 2. In the case of the Rockwell superficial test the general principles are illustrated in Fig. 3 (diamond indenter) and Fig. 4 (ball indenter) and the accompanying Table 3 and Table 4.

5.1.1 See *Equipment Manufacturer's Instruction Manual* for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedures. Typical applications of the various hardness scales are shown in Tables 5 and 6. Rockwell hardness values are usually determined and reported in accordance with one of these standard scales. An indenter

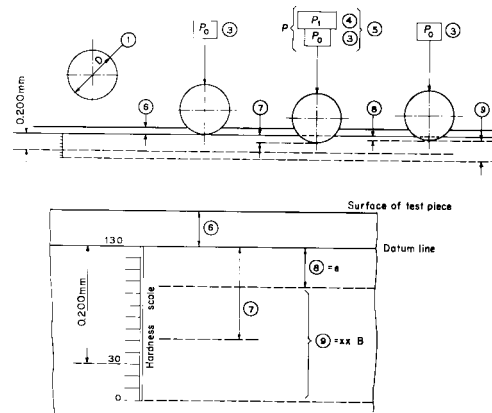


FIG. 2 Rockwell Hardness Test with Steel Ball Indenter (Rockwell B Example) (Table 2)

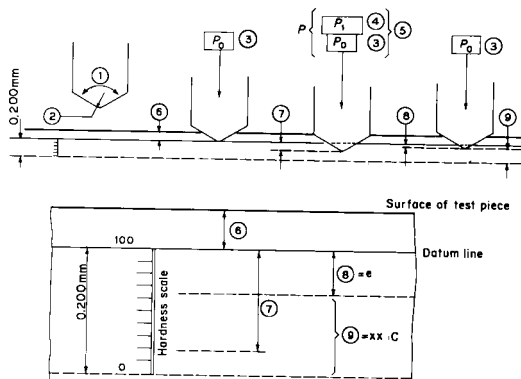


FIG. 1 Rockwell Hardness Test with Diamond Indenter (Rockwell C Example) (Table 1)

(diamond cone or steel ball) is forced into the surface of a test piece in two steps under specified conditions (see Section 7) and the difference in depth of indentation is measured as *e*.

5.1.2 The unit measurement for *e* is 0.002 mm and 0.001 mm for the Rockwell hardness test and Rockwell superficial hardness test, respectively. From the value of *e*, a number known as the Rockwell hardness is derived. There is no Rockwell hardness value designated by a number alone because it is necessary to indicate which indenter and force have been employed in making the test (see Table 5 and Table 6).

5.2 *Description of Machine and Method of Test*—The tester for making Rockwell hardness determinations is a machine that measures hardness by determining the difference in penetration depths of an indenter under two specified forces, called

TABLE 1 Symbols and Designations Associated with Fig. 3

Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the top of the diamond indenter (120°)
2	...	Radius of curvature at the tip of the cone (0.200 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 10 kgf (98 N)
4	P_1	Additional Force = 140 kgf (1373 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 10 + 140 = 150$ kgf (1471 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of additional force, the increase being expressed in units of 0.002 mm
9	xx HRC	Rockwell C hardness = $100 - e$

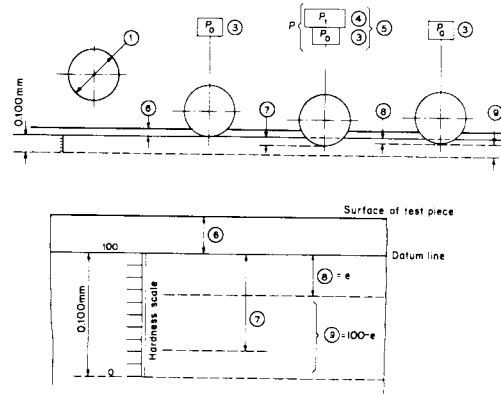


FIG. 4 Rockwell Superficial Hardness Test with Steel Ball Indenter (Rockwell 30T Example) (Table 4)

TABLE 2 Symbols and Designations Associated with Fig. 2

Number	Symbol	Designation
1	D	Diameter of ball = $\frac{1}{16}$ in. (1.588 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 10 kgf (98 N)
4	P_1	Additional force = 90 kgf (883 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 10 + 90 = 100$ kgf (981 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of the additional force, the increase being expressed in units of 0.002 mm
9	xx HRB	Rockwell B hardness = $130 - e$

TABLE 3 Symbols and Designations Associated with Fig. 3

Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the tip of the diamond indenter (120°)
2	...	Radius of curvature at the tip of the cone (0.200 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 3 kgf (29 N)
4	P_1	Additional force = 27 kgf (265 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 3 + 27 = 30$ kgf (294 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of additional force, the increase being expressed in units of 0.001 mm
9	xx HR30N	Rockwell 30N hardness = $100 - e$

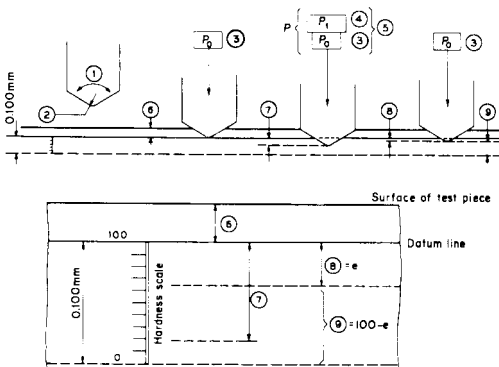


TABLE 4 Symbols and Designations Associated with Fig. 4

Number	Symbol	Designation
1	D	Diameter of ball = $\frac{1}{16}$ in. (1.588 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 3 kgf (29 N)
4	P_1	Additional force = 27 kgf (265 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 3 + 27 = 30$ kgf (294 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of the additional force, the increase being expressed in units of 0.001 mm
9	XXHR30T	Rockwell 30T hardness = $100 - e$

FIG. 3 Rockwell Superficial Hardness Test with Diamond Indenter (Rockwell 30N Example) (Table 3)

preliminary and total test forces.

5.2.1 There are two general classifications of the Rockwell test: the Rockwell hardness test and the Rockwell superficial hardness test.

5.2.2 In the Rockwell hardness test the preliminary test force is 10 kgf (98 N). Total test forces are 60 kgf (589 N), 100 kgf (981 N) and 150 kgf (1471 N). In the Rockwell superficial hardness test the preliminary test force is 3 kgf (29 N) and total test forces are 15 kgf (147 N), 30 kgf (294 N), and 45 kgf (441 N). The indenter for either test shall be of a spheroconical or spherical configuration. Scales vary by a combination of total test force and type of indenter.

5.2.3 The difference in depth is normally measured by an

electronic device or by a dial indicator. The hardness value, as read from the instrument, is an arbitrary number which is related to the difference in the depths produced by the two forces; and since the scales are reversed, the higher the number the harder the material.

5.2.4 In accordance with the operating procedures recommended by the manufacturer of the hardness tester, the test is started by applying the preliminary test force causing an initial penetration of the specimen. Since measurement of the difference in depth starts after the preliminary force has been applied, the dial gage pointer is set to zero if the instrument is a dial indicator model. On a digital readout instrument, the zero point is captured by the electronics automatically. The instrument shall be designed to eliminate the effect of impact in

TABLE 5 Rockwell Hardness Scales

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc.
C	diamond	150	black	Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than B100.
A	diamond	60	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel.
D	diamond	100	black	Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	red	Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G92 to avoid possible flattening of ball.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	red	Aluminum, zinc, lead.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	red	
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	} Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	red	
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	red	

TABLE 6 Rockwell Superficial Hardness Scales

Total Test Force, kgf (N)	Scale Symbols				
	N Scale, Diamond Indenter	T Scale, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	W Scale, 1/8-in. (3.175-mm) Ball	X Scale, 1/4-in. (6.350-mm) Ball	Y Scale, 1/2-in. (12.70-mm) Ball
15 (147)	15N	15T	15W	15X	15Y
30 (294)	30N	30T	30W	30X	30Y
45 (441)	45N	45T	45W	45X	45Y

applying the preliminary test force.

5.2.5 The additional force is applied for the required dwell time and then removed. The return to the preliminary test force position holds the indenter at the point of deepest penetration yet allows elastic recovery to occur and the stretch of the frame to be factored out. The test result is displayed by the testing machine.

5.3 Indenters:

5.3.1 The standard indenters, as have been mentioned in 3.3 are the diamond spheroconical indenter and steel ball indenters 1/16, 1/8, 1/4, and 1/2 in. (1.588, 3.175, 6.350, and 12.70 mm) in diameter.

5.3.2 The diamond indenter shall conform to the requirements prescribed in 13.1.2.1.

5.3.3 The steel balls shall conform to the requirements prescribed in 13.1.2.2.

5.3.4 Dust, dirt, grease, and scale shall not be allowed to accumulate on the indenter as this will affect the test results.

5.4 Anvils—An anvil shall be used that is suitable for the specimen to be tested. The seating and supporting surfaces of all anvils shall be clean and smooth and shall be free from pits, deep scratches, and foreign material. If the provisions of 6.3 or thickness of the test piece are complied with, there will be no danger of indenting the anvil, but, if it is so thin that the impression shows through on the under side, the anvil may be damaged. Damage may also occur from accidental contacting of the anvil by the indenter. If the anvil is damaged from any cause, it shall be replaced. Anvils showing the least visible dent will give inaccurate results on thin material.

5.4.1 Cylindrical pieces shall be tested with a V-grooved anvil that will support the specimen with the axis of the V-groove directly under the indenter or on hard, parallel, twin cylinders properly positioned and clamped in their base.

5.4.2 Flat pieces shall be tested on a flat anvil that has a smooth, flat bearing surface whose plane is perpendicular to the axis of the indenter.

5.4.3 For thin materials or specimens that are not perfectly flat, an anvil having an elevated, flat spot about 1/4 in. (6 mm) in diameter shall be used. This spot shall be polished smooth and flat and shall have a Rockwell hardness of at least 60 HRC. Very soft material should not be tested on the spot anvil because the applied force may cause the penetration of the anvil into the under side of the specimen regardless of its thickness.

5.4.4 When testing thin sheet material with a ball indenter, it is recommended that a diamond spot anvil be used.

NOTE 2—**Caution:** A diamond spot anvil should only be used with a superficial hardness tester and ball indenter. This recommendation should be followed, except when directed otherwise by material specification.

5.5 Test Blocks—Test blocks meeting the requirements of Part C shall be used to periodically verify the hardness tester.

6. Test Piece

6.1 The test shall be carried out on a smooth, even surface that is free from oxide scale, foreign matter, and, in particular, completely free from lubricants (except for reactive metals, such as titanium where lubrication such as kerosene is required).

6.2 Preparation shall be carried out in such a way that any alteration of the surface hardness (for example, due to heat or cold-working) is minimized.

6.3 The thickness of the test piece or of the layer under test should be as dictated in Tables 7-9, and Table 10 and as presented graphically in Figs. 5 and 6. These tables were determined from studies on strips of carbon steel and give reliable results. For all other materials it is recommended that

Ensayo de Dureza.



Probetas a ensayar



Preparación de probetas en paño



Durometro



Aplicación de carga



Medición de Dureza Brinell

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis.

ANEXO F.6

Extracto de la Norma ASTM E 112 – 96 (Standard Test Methods for Determining Average Size¹).

Standard Test Methods for Determining Average Grain Size¹

This standard is issued under the fixed designation E 112; 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.

^{e1} NOTE—Equations A1.4, A1.5 and A1.6 were editorially revised in April 2000.

INTRODUCTION

These test methods of determination of average grain size in metallic materials are primarily measuring procedures and, because of their purely geometric basis, are independent of the metal or alloy concerned. In fact, the basic procedures may also be used for the estimation of average grain, crystal, or cell size in nonmetallic materials. The comparison method may be used if the structure of the material approaches the appearance of one of the standard comparison charts. The intercept and planimetric methods are always applicable for determining average grain size. However, the comparison charts cannot be used for measurement of individual grains.

1. Scope

1.1 These test methods cover the measurement of average grain size and include the comparison procedure, the planimetric (or Jeffries) procedure, and the intercept procedures. These test methods may also be applied to nonmetallic materials with structures having appearances similar to those of the metallic structures shown in the comparison charts. These test methods apply chiefly to single phase grain structures but they can be applied to determine the average size of a particular type of grain structure in a multiphase or multiconstituent specimen.

1.2 These test methods are used to determine the average grain size of specimens with a unimodal distribution of grain areas, diameters, or intercept lengths. These distributions are approximately log normal. These test methods do not cover methods to characterize the nature of these distributions. Characterization of grain size in specimens with duplex grain size distributions is described in Test Methods E 1181. Measurement of individual, very coarse grains in a fine grained matrix is described in Test Methods E 930.

1.3 These test methods deal only with determination of planar grain size, that is, characterization of the two-dimensional grain sections revealed by the sectioning plane. Determination of spatial grain size, that is, measurement of the size of the three-dimensional grains in the specimen volume, is beyond the scope of these test methods.

1.4 These test methods describe techniques performed manually using either a standard series of graded chart images

for the comparison method or simple templates for the manual counting methods. Utilization of semi-automatic digitizing tablets or automatic image analyzers to measure grain size is described in Test Methods E 1382.

1.5 These test methods deal only with the recommended test methods and nothing in them should be construed as defining or establishing limits of acceptability or fitness of purpose of the materials tested.

1.6 The measured values are stated in SI units, which are regarded as standard. Equivalent inch-pound values, when listed, are in parentheses and may be approximate.

1.7 *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.*

1.8 The paragraphs appear in the following order:

Section	Number
Scope	1
Referenced Documents	2
Terminology	3
Significance and Use	4
Generalities of Application	5
Sampling	6
Test Specimens	7
Calibration	8
Preparation of Photomicrographs	9
Comparison Procedure	10
Planimetric (Jeffries) Procedure	11
General Intercept Procedures	12
Heyn Linear Intercept Procedure	13
Circular Intercept Procedures	14
Hilliard Single-Circle Procedure	14.2
Abrams Three-Circle Procedure	14.3
Statistical Analysis	15
Specimens with Non-equiaxed Grain Shapes	16
Specimens Containing Two or More Phases or Constituents	17

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and are the direct responsibility of Subcommittee E04.08 on Grain Size.

Current edition approved May 10, 1996. Published July 1996. Originally published as E 112 – 55 T. Last previous edition E 112 – 95.

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{r} Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	µm ²	mm	µm	mm	µm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

11. Planimetric (or Jeffries') (3) Procedure

11.1 In the planimetric procedure inscribe a circle⁸ 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 $N_{\text{Intercepted}}$ is the number of grains that intercept the test circle. The average grain area, \bar{A} , is the reciprocal of N_A , that is, $1/N_A$, 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

⁸ A transparent grid for the planimetric method is available from ASTM Headquarters. The transparency consists of two test circles, one with a diameter of 79.8 mm (5000 mm² area) and the other with a diameter of 159.6 mm (20 000 mm² area). Order Adjunct: ADJE011223.

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

^A At 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier, *f*, becomes unity if the area used is 5625 mm² (a circle of 84.5-mm diameter).

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 15.50C grains/mm² at 1X. For areas other than the standard circle, determine the actual number of grains per square millimetre, N_A , and find the nearest size from Table 4. The ASTM grain size number, G , can be calculated from N_A (number of grains per mm² at 1X) using (Eq 1) in Table 6.

12. General Intercept Procedures

12.1 Intercept procedures are more convenient to use than the planimetric procedure. These procedures are amenable to use with various types of machine aids. It is strongly recommended that at least a manual tally counter be used with all intercept procedures in order to prevent normal errors in counting and to eliminate bias which may occur when counts appear to be running higher or lower than anticipated.

12.2 Intercept procedures are recommended particularly for all structures that depart from the uniform equiaxed form. For anisotropic structures, procedures are available either to make separate size estimates in each of the three principal directions, or to rationally estimate the average size, as may be appropriate.

12.3 There is no direct mathematical relationship between the ASTM grain size number, G , and the mean lineal intercept unlike the exact relationship between G , N_{AE} , N_A and \bar{A} (Eq 1) for the planimetric method. The relationship

$$\bar{L} = \left(\frac{\pi}{4} \bar{A}\right)^{1/2} \tag{5}$$

between the mean lineal intercept, \bar{L} , and the average grain area, \bar{A} , is exact for circles but not quite exact for a structure of uniform equiaxed grains (see A2.2.2). Consequently, the relationship between the ASTM grain size number G and the mean lineal intercept has been defined so that ASTM No. 0 has a mean intercept size of precisely 32.00 mm for the macroscopically determined grain size scale and of 32.00 mm on a field of view at 100X magnification for the microscopically determined grain size scale. Thus:

$$G = 2\log_2 \frac{\bar{L}_0}{\bar{L}} \tag{6}$$

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
$G = (3.321928 \log_{10} N_A) - 2.954$	N_A in mm^{-2}
$G = (6.643856 \log_{10} N_L) - 3.288$	N_L in mm^{-1}
$G = (6.643856 \log_{10} P_L) - 3.288$	P_L in mm^{-1}
$G = (-6.643856 \log_{10} \bar{L}) - 3.288$	\bar{L} in mm

$$G = 10.00 - 2\log_2 \bar{L} \tag{7}$$

$$G = 10.00 + 2\log_2 \bar{N}_L \tag{8}$$

where \bar{L}_0 is 32 mm and \bar{L} and N_L are in millimetres at 1X or number of intercepts per mm for the macroscopically determined grain size numbers and in millimetres or number per mm on a field at 100X for the microscopically determined grain size numbers. Using this scale, measured grain size numbers are within about 0.01 G units of grain size numbers determined by the planimetric method, that is, well within the precision of the test methods. Additional details concerning grain size relationships are given in Annex A1 and Annex A2.

12.4 The mean intercept distance, \bar{L} , measured on a plane section is an unbiased estimate of the mean intercept distance within the solid material in the direction, or over the range of directions, measured. The grain boundary surface area-to-volume ratio is given exactly by $S_v = 2 N_L$ when N_L is averaged over three dimensions. These relations are independent of grain shape.

13. Heyn (4) Lineal Intercept Procedure

13.1 Estimate the average grain size by counting (on the ground-glass screen, on a photomicrograph of a representative field of the specimen, or on the specimen itself) the number of grains intercepted by one or more straight lines sufficiently long to yield at least 50 intercepts. It is desirable to select a combination of test line length and magnification such that a single field will yield the required number of intercepts. One such test will nominally allow estimation of grain size to the nearest whole ASTM size number, at the location tested. Additional lines, in a predetermined array, should be counted to obtain the precision required. The precision of grain size estimates by the intercept method is a function of the number of grain interceptions counted (see Section 19). Because the ends of straight test lines will usually lie inside grains (see 14.3), precision will be reduced if the average count per test line is low. If possible, use either a longer test line or a lower magnification.

13.2 Make counts first on three to five blindly selected and widely separated fields to obtain a reasonable average for the specimen. If the apparent precision of this average (calculated as indicated in Section 15) is not adequate, make counts on sufficient additional fields to obtain the precision required for the specimen average.

13.3 An *intercept* is a segment of test line overlaying one grain. An *intersection* is a point where a test line is cut by a grain boundary. Either may be counted, with identical results in a single phase material. When counting intercepts, segments at the end of a test line which penetrate into a grain are scored as half intercepts. When counting intersections, the end points of a test line are not intersections and are not counted except when the end appears to exactly touch a grain boundary, when 1/2 intersection should be scored. A tangential intersection with a grain boundary should be scored as one intersection. An intersection apparently coinciding with the junction of three grains should be scored as 1 1/2. With irregular grain shapes, the test line may generate two intersections with different parts of the same grain, together with a third intersection with the

Ensayo Metalográfico



Set de probetas.



Banco de lijas.



Reactivos para el ataque de probetas.



Microscopio



Obtención de metalografías.

Fuente: Egdo. Telenchana José Luis