

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

*Trabajo Estructurado de Manera Independiente previo a la obtención  
del Título de Ingeniera Mecánica*

**TEMA:**

---

---

*"ESTUDIO DEL TEMPLE EN EL ACERO UTILIZANDO GRASAS  
VEGETALES Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS"*

---

---

**AUTOR:**

Egda. Marcia Ximena Criollo Camacho

**TUTOR:**

Ing. Henry Vaca

Ambato-Ecuador

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del presente Trabajo Estructurado de Manera Independiente previo a la obtención del Título de Ingeniera Mecánica, bajo el tema *“ESTUDIO DEL TEMPLE EN EL ACERO UTILIZANDO GRASAS VEGETALES Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”*, ejecutado por la Señorita Marcia Ximena Criollo Camacho, egresada 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 concluida bajo el plan de tesis aprobado.

Ambato, Junio del 2011

-----

Ing. Henry Vaca

Tutor

## AUTORÍA

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación como también los contenidos, ideas análisis, conclusiones y propuesta bajo el tema *“ESTUDIO DEL TEMPLE EN EL ACERO UTILIZANDO GRASAS VEGETALES Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”* son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor del presente proyecto de grado.

Ambato, Junio del 2011

-----

Marcia Ximena Criollo Camacho

CI: 180415869-7

Autor

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de investigación está dedicado a mis padres quienes son el pilar fundamental para el crecimiento como persona y como profesional, a mis hermanos y familiares cercanos con quienes he compartido la alegría de la vida, a ese ser que será el motivo de todo lo que consiga en el futuro, 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 mi mejor amiga Soraya, demás amigos y compañeros de quienes siempre he recibido lo mejor.*

## *AGRADECIMIENTO*

*En primer lugar a Dios por brindarme la vida, la salud, y la capacidad para la culminación del presente trabajo de investigación siendo mi guía y mi luz brindándome la fuerza, la sabiduría y por todo lo que sin pedir nada a cambio me ha concedido.*

*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 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 y a cada una de las personas que generosamente contribuyeron de una u otra manera para que este trabajo de investigación culmine.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### PÁGINAS PRELIMINARES

Página de Título	I
Página de Aprobación por el Tutor	II
Página de Autoría de la Tesis	III
Página de Dedicatoria	IV
Página de Agradecimiento	V
Índice de Contenidos	VI
Índice de Gráficos y Tablas	XII
Índice de Referencias	XV
Resumen Ejecutivo	XIX

### CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO	2
1.2.3 PROGNOSIS	3
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES	3
1.2.6 DELIMITACION 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	6

## CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	7
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	7
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL	8
2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
2.4.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS	8
2.4.1.1 Temple	9
2.4.1.2 Objetivos del Temple	9
2.4.1.3 Factores del Temple	10
2.4.2 MARTENSITA	15
2.4.2.1 Formación de la Martensita Fe-C por Temple	15
2.4.2.2 Microestructura de las Martensitas Fe-C	16
2.4.2.3 Dureza y Resistencia de las Martensitas Fe-C	17
2.4.3 FERRITA	17
2.4.4 PERLITA	18
2.4.5 ACEROS ESPECIALES	18
2.4.5.1 Acero AISI 1045	19
2.4.6 ENSAYOS Y PROPIEDADES MECÁNICAS	21
2.4.6.1 Ensayo de Tensión	21
2.4.6.2 Esfuerzo y Deformación Ingenieriles	23
2.4.6.3 Propiedades Obtenidas del Ensayo de Tensión	24
2.4.6.4 Esfuerzo de Cedencia	24
2.4.6.5 Resistencia a la Tensión	25
2.4.6.6 Propiedades Elásticas	26
2.4.6.7 Módulo de Resistencia ( $E_r$ )	27
2.4.6.8 Ductilidad	27

2.4.6.9 Ensayo de Dureza	28
2.4.6.10 Ensayo de Metalografía	31
2.4.7 MÉTODO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO	33
2.4.7.1 Procedimiento de Comparación	34
2.4.7.2 Procedimiento Planimétrico	35
2.4.7.3 Procedimiento de Intersección	36
2.4.8 GRASAS VEGETALES	38
2.4.8.1 Fuentes	38
2.4.8.2 Propiedades Físicas	39
2.4.8.3 Manteca Vegetal	40
2.4.8.4 Manteca Simple	40
2.4.9 ACEITE VEGETAL	41
2.4.9.1 Aceite de Oliva	41
2.4.9.2 Aceite de Palma	41
2.4.9.3 Aceite de Girasol	42
2.4.9.4 Aceite de Maíz	42
2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	43
2.6 HIPÓTESIS	44
2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	44
2.7.1 Variable independiente	44
2.7.2 Variable dependiente	44
2.7.3 Término de relación	44

### **CAPÍTULO III**

3. METODOLOGÍA	45
3.1 ENFOQUE	45
3.2 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	46
3.2.1. MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN	46
3.2.1.1 Bibliográfica	46



3.2.1.2 Experimental	46
3.2.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	46
3.2.2.1 Descriptiva	46
3.2.2.2 Exploratoria	46
3.2.2.3 Asociación de variables	46
3.2.2.4 Explicativa	47
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	47
3.3.1 Población	47
3.3.2 Muestra	47
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	48
3.4.1 Variable Independiente	48
3.4.2 Variable Dependiente	49
3.5 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	50
3.5.1 Observación	50
3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	50
3.6.1 Plan de procesamiento de la información recogida	50
3.6.2 Plan de análisis e interpretación de resultados	51

## **CAPÍTULO IV**

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	52
4.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	53
4.2.1 EVALUACIÓN DEL ACERO AISI 1045 COMO VIENE DE FÁBRICA	55
4.2.2 EVALUACIÓN DE LAS PROBETAS DE ACERO AISI 1045 TEMPLADAS UTILIZANDO GRASAS VEGETALES COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO	59
4.2.3 EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS DE ACERO AISI 1045 TEMPLADAS	87
4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	111
4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	115

## **CAPÍTULO V**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
5.1 CONCLUSIONES	117
5.2 RECOMENDACIONES	118

## **CAPÍTULO VI**

6. PROPUESTA	120
6.1 DATOS INFORMATIVOS	120
6.2 ANTECEDENTAS DE LA PROPUESTA	121
6.3 JUSTIFICACIÓN	121
6.4 OBJETIVOS	122
6.4.1 General	122
6.4.2 Específicos	122
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	122
6.5.1 Análisis Económico	122
6.5.1.1 Costos Directos	123
6.5.1.2 Costos Indirectos	124
6.5.2 Análisis Tecnológico	124
6.6 FUNDAMENTACIÓN	124
6.6.1 Cálculo de Área inicial de la probeta	125
6.6.2 Cálculo de Área final de la probeta	125
6.6.3 Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción	126
6.6.4 Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%)	126
6.6.5 Cálculo del porcentaje de Reducción de área	126
6.6.6 Ensayo Metalográfico	127
6.6.6.1 Cálculo de la Dureza utilizando la regla de fases	127
6.6.7 Determinación del tamaño de grano	127
6.7 METODOLOGÍA	128
6.7.1 Selección del material	129

6.7.2 Maquinado de las probetas	130
6.7.2.1 Corte de las probetas	130
6.7.3 Realización del Tratamiento Térmico (TEMPLE)	133
6.7.4 Desarrollo del Ensayo de Tracción	134
6.7.5 Preparación de la probeta	136
6.7.6 Preparación metalográfica de la superficie para el análisis	138
6.7.6.1 Desbaste grueso	138
6.7.6.2 Desbaste fino	138
6.7.6.3 Pulido grueso	139
6.7.6.4 Pulido fino	140
6.7.7 Ataque químico de la superficie	140
6.7.8 Evaluación y resultado	141
6.7.9 Ejecución del Ensayo de Dureza	142
6.8 ADMINISTRACIÓN	143
6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN	145
6.10 BIBLIOGRAFÍA	146

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

### GRÁFICOS

GRÁFICO 1 Efecto del contenido en Carbono sobre la temperatura de inicio de transformación de la martensita $M_i$ , para aleaciones hierro-carbono	16
GRÁFICO 2 Aparato para el ensayo de Tracción	22
GRÁFICO 3 Curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación de aluminio de la tabla 2.3	24
GRÁFICO 4 Esfuerzo de cedencia superior e inferior que describe el comportamiento mecánico de un acero al bajo carbono	25
GRÁFICO 5 Deformación localizada durante el ensayo de tensión de un material dúctil produciendo una región de encuellamiento	26
GRÁFICO 6 Ensayo de dureza Brinell y Rockwell	29
GRÁFICO 7 Plantillas de Comparación	35
GRÁFICO 8 Método Planimétrico	36
GRÁFICO 9 Geometrías utilizadas para el Método de comparación	37
GRÁFICO 10 Comparación de Dureza en los diferentes Medios de Enfriamiento con respecto al Aceite Convencional SAE 10W30 (Experimental)	111
GRÁFICO 11 Comparación de Dureza en los Diferentes Medios de Enfriamiento con respecto al Aceite Convencional SAE 10W30 (Utilizando fórmulas para el Cálculo)	112
GRÁFICO 12 Comparación de Dureza en los Diferentes Medios de Enfriamiento	113
GRÁFICO 13 Comparación de Dureza en los Diferentes Medios de Enfriamiento con respecto al Agua	114
GRÁFICO 14 Resistencia Última a la Tracción de las probetas de Acero AISI 1045 en los Diferentes Medios de Enfriamiento	115
GRÁFICO 15 Ejes de acero AISI 1045 (Fábrica)	129
GRÁFICO 16 Espécimen 01 acero AISI 1045 (Probeta para el ensayo de tracción)	130

GRÁFICO 17 Espécimen 01 acero AISI 1045 (Probeta para el ensayo de tracción dimensiones)	130
GRÁFICO 18 Probeta cortada de 5 pulgadas (Acero AISI 1045)	131
GRÁFICO 19 Maquinado de la Probeta (Acero AISI 1045)	132
GRÁFICO 20 Probetas de Acero AISI 1045 para ser templadas	132
GRÁFICO 21 Horno para realizar Tratamientos Térmicos	133
GRÁFICO 22 Diagrama térmico	134
GRÁFICO 23 Probeta enfriada en Aceite de Oliva	134
GRÁFICO 24 Probeta calibrada	135
GRÁFICO 25 Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton.	135
GRÁFICO 26 Ubicación de la probeta en el acople de la Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton.	136
GRÁFICO 27 Probeta calibrada después de realizado el ensayo de tracción	136
GRÁFICO 28 Prensa Hidráulica Manual	137
GRÁFICO 29 Probeta montada en Baquelita	137
GRÁFICO 30 Lima media caña y lima fina utilizadas para el desbaste grueso	138
GRÁFICO 31 Banco de desbaste para cuatro tipos de papel abrasivo (240-320-400-600 granos por pulgada cuadrada)	139
GRÁFICO 32 Banco de Pulido	139
GRÁFICO 33 Pulido fino	140
GRÁFICO 34 Ataque Químico	141
GRÁFICO 35 Observación de la probeta atacada	141
GRÁFICO 36 Sistema de circuito cerrado de televisión	142
GRÁFICO 37 Durómetro	142

## **TABLAS**

TABLA 2.1 Temperaturas del Temple de los Aceros al Carbono	12
TABLA 2.2 Tiempo total aproximado, requerido para calentar piezas entre 800-850°C en varios tipos de hornos para realizar el temple	13

TABLA 2.3 Resultado de un ensayo de tensión de una barra de aleación de aluminio de 0.505pulg de diámetro	22
TABLA 2.4 Comparación de ensayos de dureza Típicos	30
TABLA 2.5 Factor de corrección Q	34
TABLA 6.1 Costos para realizar el temple en el Acero AISI 1045 utilizando como medios de enfriamiento Grasas Vegetales	123
TABLA 6.2 Dimensiones del Espécimen 01 acero AISI 1045 (Probeta para el ensayo de tracción)	131
TABLA 6.3 Administración de Tesis	143

## ÍNDICE DE REFERENCIAS

REG: D.I. 001 Registro de Datos Informativos del Acero AISI 1045	55
REG: D.I. 002 Registro de Datos Informativos de la Probeta de Acero AISI 1045 templada en Agua	59
REG: D.I. 003 Registro de Datos Informativos de la Probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite SAE10W30	63
REG: D.I. 004 Registro de Datos Informativos de la Probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Maíz	67
REG: D.I. 005 Registro de Datos Informativos de la Probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Oliva	71
REG: D.I. 006 Registro de Datos Informativos de la Probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Girasol	75
REG: D.I. 007 Registro de Datos Informativos de la Probeta de Acero AISI 1045 templada en Manteca Vegetal	79
REG: D.I. 008 Registro de Datos Informativos de la Probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Palma	83
REG: D.I. 009 Registro de Datos Informativos del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 como viene de fábrica	87
REG: D.I. 010 Registro de Datos Informativos del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Agua	90
REG: D.I. 011 Registro de Datos Informativos del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite SAE 10W30	93
REG: D.I. 012 Registro de Datos Informativos del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Maíz	96
REG: D.I. 013 Registro de Datos Informativos del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Oliva	99
REG: D.I. 014 Registro de Datos Informativos del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Girasol	102
REG: D.I. 015 Registro de Datos Informativos del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Manteca Vegetal	105

REG: D.I. 016 Registro de Datos Informativos del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Palma	108
REG: E.M. 001 Registro de Ensayo Metalográfico del Acero AISI 1045 como viene de fábrica	56
REG: E.M. 002 Registro de Ensayo Metalográfico de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Agua	60
REG: E.M. 003 Registro de Ensayo Metalográfico de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite SAE 10W30	64
REG: E.M. 004 Registro de Ensayo Metalográfico de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Maíz	68
REG: E.M. 005 Registro de Ensayo Metalográfico de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Oliva	72
REG: E.M. 006 Registro de Ensayo Metalográfico de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Girasol	76
REG: E.M. 007 Registro de Ensayo Metalográfico de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Manteca Vegetal	80
REG: E.M. 008 Registro de Ensayo Metalográfico de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Palma	84
REG: E.M. 009 Registro de Ensayo Metalográfico después del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 como viene de fábrica	89
REG: E.M. 010 Registro de Ensayo Metalográfico después del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Agua	92
REG: E.M. 011 Registro de Ensayo Metalográfico después del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada Aceite SAE 10W30	95
REG: E.M. 012 Registro de Ensayo Metalográfico después del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Maíz	98
REG: E.M. 013 Registro de Ensayo Metalográfico después del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Oliva	101
REG: E.M. 014 Registro de Ensayo Metalográfico después del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Girasol	104



REG: E.M. 015 Registro de Ensayo Metalográfico después del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Manteca Vegetal	107
REG: E.M. 016 Registro de Ensayo Metalográfico después del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 templada en Aceite de Palma	110
REG: E.D. 001 Registro de Ensayo de Dureza del Acero AISI 1045 como viene de fábrica	57
REG: E.D. 002 Registro de Ensayo de Dureza de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Agua	61
REG: E.D. 003 Registro de Ensayo de Dureza de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite SAE 10W30	65
REG: E.D. 004 Registro de Ensayo de Dureza de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Maíz	69
REG: E.D. 005 Registro de Ensayo de Dureza de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Oliva	73
REG: E.D. 006 Registro de Ensayo de Dureza de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Girasol	77
REG: E.D. 007 Registro de Ensayo de Dureza de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Manteca Vegetal	81
REG: E.D. 008 Registro de Ensayo de Dureza de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Palma	85
REG: Ev.M. 001 Registro de Evaluación de la Microestructura del Acero AISI 1045 como viene de fábrica	57
REG: Ev.M. 002 Registro de Evaluación de la Microestructura de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Agua	61
REG: Ev.M. 003 Registro de Evaluación de la Microestructura de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite SAE 10W30	65
REG: Ev.M. 004 Registro de Evaluación de la Microestructura de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Maíz	69
REG: Ev.M. 005 Registro de Evaluación de la Microestructura de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Oliva	73

REG: Ev.M. 006 Registro de Evaluación de la Microestructura de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Girasol	77
REG: Ev.M. 007 Registro de Evaluación de la Microestructura de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Manteca Vegetal	81
REG: Ev.M. 008 Registro de Evaluación de la Microestructura de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Palma	85
REG: E.T. 001 Registro del Ensayo de Tracción del Acero AISI 1045 como viene de fábrica	88
REG: E.T. 002 Registro del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Agua	91
REG: E.T. 003 Registro del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite SAE 10W30	94
REG: E.T. 004 Registro del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Maíz	97
REG: E.T. 005 Registro del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Oliva	100
REG: E.T. 006 Registro del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Girasol	103
REG: E.T. 007 Registro del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Manteca Vegetal	106
REG: E.T. 008 Registro del Ensayo de Tracción de la probeta de Acero AISI 1045 Templada en Aceite de Palma	109

## RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente trabajo estructurado de manera independiente se desarrolla el estudio de la utilización de Grasas Vegetales como medio de enfriamiento para templar aceros, en éste caso se toma como patrón el Acero AISI 1045, en nuestro medio se realiza el Temple del acero de una manera artesanal motivo por el cual se ha propuesto realizar el presente trabajo, el cual es de gran utilidad técnica al momento de optar por medios de enfriamiento alternativos que presenten características similares o mejores a los medios comúnmente utilizados.

Para la ejecución del trabajo planteado se ha realizado una investigación netamente experimental la cual se basa en una serie de pruebas y ensayos realizados en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, sin dejar de lado la bibliografía utilizada para obtener información referente al tema.

Con la investigación se ha determinado que el mejor resultado en cuanto a propiedades mecánicas se lo obtiene en el Aceite de Oliva, el cual es de fácil adquisición en el medio comercial, las propiedades obtenidas cumplen con las necesidades que el tratamiento térmico requiere, dando un valor de dureza elevado y sin la presencia de fragilidad lo cual es lo óptimo para el acero según las aplicaciones que se vaya a dar, de tal modo que se puede implementarlo a nivel de industrias.

**AUTOR:** Marcia Ximena Criollo Camacho

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN**

“ESTUDIO DEL TEMPLE EN EL ACERO UTILIZANDO GRASAS VEGETALES Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

En vastas regiones del mundo se ha 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 los tratamientos térmicos. En la actualidad existen muchas clases de aceros aleados y aceros para elementos de máquinas, cada uno requiere un tratamiento térmico especial en su proceso de manufactura, para mejorar sus propiedades mecánicas y que cumplan con las especificaciones requeridas. Otros metales no ferrosos como el aluminio (Al), el titanio (Ti) y el tungsteno (W) se someten a tratamientos térmicos para incrementar su resistencia mecánica y su durabilidad.

Los tratamientos térmicos son una Ciencia, y sólo los países desarrollados, disponen de investigaciones de nuevas tecnologías como es el caso de Europa, específicamente España dando lugar a una

verdadera transformación industrial en cuanto al desarrollo de nuevos materiales.

A nivel de nuestro país existe muy pocos estudios respecto al tema de investigación propuesto en la mayoría de sectores dedicados a realizar el temple lo hacen de manera artesanal y por lo tanto no tiene fundamentación científica, sus conocimientos son empíricos, en la provincia existe un gran número de industrias metalmecánicas, que utilizan elementos de máquinas sin previo tratamiento 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.

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 como templar un Acero en diferentes medios, que no sea los convencionales, en este caso se Utilizará Grasas vegetales como medio de enfriamiento.

### **1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO**

El deseo del hombre por mejorar su entorno, ha dado lugar a un incremento de necesidades en las diferentes áreas pues la facilidad que brinda el buen funcionamiento de las máquinas es de gran importancia a nivel de industria, una manera de conseguir lo mencionado es mejorando las propiedades de los elementos de las mismas, pues se debe realizar algún tratamiento térmico que permita tener excelentes propiedades en este caso el Temple, es sabido que existen varios medios para realizar el enfriamiento del Temple pero en este estudio se tomará una alternativa

que tenga ventajas sobre los demás que serán las Grasas Vegetales, pues son compuestos de fácil adquisición y están a nuestro alcance. Por ello es de gran importancia proponer el estudio de estos medios de enfriamiento.

### **1.2.3 PROGNOSIS**

Al pasar por alto el presente estudio no se podrá determinar las propiedades mecánicas que tiene el acero realizando el Temple utilizando Grasas Vegetales motivo por el cual no se tendrá opciones al momento de elegir en cual medio de enfriamiento se puede realizar este tratamiento térmico y definir las características apropiadas para determinadas aplicaciones en cuanto a materiales y costos.

### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿El tratamiento inadecuado en aceros disminuye la vida útil en la maquinaria industrial?

### **1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Se podrá mejorar las Propiedades Mecánicas con la realización del Temple como tratamiento térmico en el acero AISI 1045?

¿Se podrá garantizar el Temple que cumpla con las especificaciones preestablecidas?

¿Serán las Grasas Vegetales medios de enfriamiento adecuados que garanticen obtener buenas Propiedades Mecánicas?

## **1.2.6 DELIMITACION DEL PROBLEMA**

### **1.2.6.1 DELIMITACION DE CONTENIDO**

La presente investigación se llevará a cabo en los parámetros científicos de investigación dentro del campo de la Ingeniería Mecánica con el estudio en diferentes áreas como son los Procesos de Manufacturación, Ingeniería de Materiales, siendo estas las materias principales; y tomando en consideración como fuentes de consulta varios libros de la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para información global el internet.

### **1.2.6.2 DELIMITACION ESPACIAL**

El estudio del temple en el Acero utilizando Grasas Vegetales para determinar las Propiedades Mecánicas se desarrollará en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica dentro de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi.

### **1.2.6.3 DELIMITACION TEMPORAL**

Esta investigación se desarrollará durante los meses de Diciembre del 2010 y en Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo del 2011 tiempo en el cual se determinará todos los parámetros que sean necesarios para una correcta información sobre el problema planteado.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El acero seleccionado para realizar el presente estudio es el acero AISI 1045 pues éste tiene un contenido de carbono que es de gran importancia, con lo cual se puede determinar su comportamiento cuando

se realiza un tratamiento térmico como es el temple para determinar las Propiedades Mecánicas y poder usar los elementos de este material en el correcto funcionamiento de las máquinas que son esenciales para el desarrollo de cualquier industria. Se puede realizar el temple en varios medios de enfriamiento pero en este estudio se lo realizará en Grasas Vegetales pues se quiere determinar las propiedades que este material presenta en estas condiciones, se va a utilizar este acero pues es muy utilizado en nuestro medio por su flexibilidad en el trabajo, se sabe también que es fácil de adquirirlo por su bajo costo y se lo puede encontrar en el mercado con facilidad, tiene varias aplicaciones en la industria como son ejes, pernos, arandelas, etc. todos estos son elementos de máquinas y tienen gran aplicación en la industria mecánica.

Es convincente que este estudio será 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.

Es un estudio factible de realizarlo, se cuenta con la bibliografía, talleres y equipos necesarios para el desarrollo del mismo, además cuenta con el personal calificado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Estudiar las características del proceso de Temple mediante enfriamiento con Grasas Vegetales y su relación con las Propiedades Mecánicas.



### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Estudiar el cambio de la estructura metalográfica y la dureza del acero con la realización del Temple como tratamiento térmico.
- Definir los parámetros que permitan la evaluación e interpretación de las propiedades de las probetas, como son la microestructura, dureza, y resistencia a la tracción, sometidas al Temple como tratamiento térmico.
- Realizar el Temple según el procedimiento preestablecido comparado con el medio convencional.
- Determinar si las Grasas Vegetales son un medio de enfriamiento adecuado que garantice buenas propiedades mecánicas del acero.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Los primeros "aceros templados" se desarrollaron en Toledo, España, en donde se concentraba la "armería real" en la Edad Media. Allí eran fabricadas espadas, armaduras y partes metálicas en general.

Un gran número de piezas de acero al carbono, de baja y alta aleación, que son producidas hoy en día, son tratadas térmicamente antes de ser puestas en servicio. Las partes o componentes son tratados para mejorar propiedades particulares tales como dureza, resistencia mecánica y a la corrosión. El tratamiento térmico a aplicar a cada pieza depende tanto del tipo de aleación así como de las condiciones particulares al que serán expuestas en servicio.

#### **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

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 tratamientos térmicos, ya que es un campo de gran utilidad para el desarrollo industrial en cuanto a elección de materiales se refiere.

Generalmente los innumerables problemas en piezas y elementos de máquinas, requieren un estudio acerca de los tratamientos térmicos para determinar las propiedades que los mismos obtienen a partir de realizarlos. Con este tipo de estudio se hará un aporte al sector industrial y mecánico, para obtener los mejores resultados con el funcionamiento de máquinas para así evitar daños y pérdidas económicas, pues con materiales de buena calidad y propiedades se obtiene un correcto funcionamiento. Para realizar el estudio se debe tomar en cuenta normas las cuales serán específicamente las internacionales pues dentro del país es muy poca la información que se tiene acerca de este tema.

## **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

El estudio del Temple en el acero AISI 1045 en Grasas Vegetales para determinar y la incidencia en sus Propiedades Mecánicas tomará forma en base al seguimiento de las normas ASTM E-8M, ASTM E8-04, ASTM E-112.

## **2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.4.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS**

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con un tratamiento térmico adecuado, se pueden reducir esfuerzos residuales, reducir el tamaño de grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La velocidad de enfriamiento es el factor importante a controlar, un enfriamiento rápido arriba de la zona crítica da por resultado una estructura dura, mientras que un enfriamiento muy lento produce una estructura suave.

El primer paso en el tratamiento térmico del acero es calentar el material a alguna temperatura por encima del intervalo crítico para formar austenita.

En la mayoría de los casos, la rapidez de calentamiento a la temperatura deseada es menos importante que otros factores en el ciclo del tratamiento, aunque los materiales altamente esforzados, producidos por trabajado en frío deben calentarse más lentamente que los que se hallan libres de esfuerzos para evitar distorsión. Se puede considerar la diferencia en temperatura que tiene lugar dentro de las secciones gruesas y delgadas en piezas de sección transversal variable y siempre que sea posible debe tomar alguna medida para atrasar el calentamiento de las secciones más delgadas de tal modo que sea posible minimizar el esfuerzo térmico y la distorsión. Por lo general se hará menos daño al acero al utilizar una rapidez de calentamiento tan lenta como sea posible.

[1]

#### **2.4.1.1 TEMPLE**

Según Sturla: El temple es un tratamiento térmico que consiste en calentar un producto siderúrgico, durante cierto tiempo, a una temperatura generalmente por encima del punto crítico superior y luego enfriarlo bruscamente en un medio líquido o gaseoso y a veces por contacto con un sólido.

#### **2.4.1.2 OBJETIVOS DEL TEMPLE**

Con el temple se persiguen ciertos objetivos entre los que se encuentra obtener una estructura martensítica que modifica las distintas propiedades del producto siderúrgico de las siguientes formas:

##### a) Propiedades Físicas

- Densidad: los aceros y hierros fundidos templados, aumentan de volumen por acción de dicho tratamiento.
- Resistividad: la resistencia eléctrica del acero aumenta.
- Magnetismo: la intensidad magnética del acero disminuye.

---

<sup>1</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 200

- Sonoridad: la sonoridad del acero disminuye.

#### b) Propiedades Mecánicas

- Aumentan: la tensión de rotura por tracción, el límite elástico y la dureza.
- Disminuyen: el alargamiento y la estricción.

#### c) Propiedades Químicas

Aumenta la resistencia al ataque químico de ciertos ácidos con respecto al que poseen en estado recocido.

#### d) Físico-Químico

El temple constituye un tratamiento térmico preparatorio o previo para la obtención de determinadas estructuras y en consecuencia definidas características mecánicas.

#### e) Tratamiento Heterogéneo

El temple puede tener entre otros por finalidad principal, producir la máxima dureza en un acero o en un hierro fundido, propiedad que suele obtenerse para afectar:

- Solamente a la periferia, superficialmente o a determinada zona.
- Integralmente, a toda la masa metálica.<sup>[2]</sup>

### 2.4.1.3 FACTORES DEL TEMPLE

Los factores que tienen relación directa con el temple son:

---

<sup>2</sup> Tesis: Ing. VILLACÍS Milton, (2007) "Diseño y construcción de la Máquina Jominy para ensayos de Templabilidad de los Aceros bajo Normas ASTM", Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato.

### **a) Composición química y estado estructural del producto siderúrgico antes del temple.**

Los elementos que intervienen en la constitución y estructura del acero actúan de diferente forma sobre la velocidad de enfriamiento, así por ejemplo cuanto mayor es el contenido de carbono, tanto mayor será la duración de enfriamiento y menor la velocidad crítica de temple.

El principal requerimiento que debe presentar el producto siderúrgico, previo al temple, desde el punto de vista de su estructura, estriba en que la misma debe ser homogénea, uniforme y de grano fino.

Si el grano de la estructura del acero es grueso, cuando se lo temple, si bien se puede mejorar la templabilidad, la dureza, no resulta uniforme, el grado de distorsión, es factible que sea mayor y más susceptible que se produzca las fisuras o micro fisuras propias del temple.

Cuando el acero hipoeutectoide se calienta sobre la zona austenítica, el grano de austenita resulta pequeño, puede presentar diferencias en la composición química; si proviene de una perlita y ferrita gruesa y heterogénea, ya que algunos cristales contendrán menos carbono que otros; de aquí que las transformaciones posteriores se logran mediante el temple.

### **b) Temperatura del temple.**

La temperatura de calentamiento para practicar el temple, varía con el tipo y clase de acero; en los al carbono es función del contenido de carbono; en general se requiere alcanzar la austenización completa del acero, para lograr la mayor dureza, homogeneidad estructural y una granulometría fina, por lo cual permitirá el mejoramiento de las propiedades mecánicas del acero.

- Los aceros al carbono, con hasta 0.9% de carbono.

$$T_t = A_{C3} + (20 \text{ a } 40^{\circ}C)$$

Donde:

$A_{C3}$  = temperatura del punto crítico superior al calentamiento.

**TABLA 2.1** Temperaturas del Temple de los Aceros al Carbono. **FUENTE:** Tesis: Ing. VILLACÍS Milton, (2007) "Diseño y construcción de la Máquina Jominy para ensayos de Templabilidad de los Aceros bajo Normas ASTM", Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato. Pág. 10

Contenido de carbono %	Temperaturas °C
0.10	925
0.20	900
0.30	870
0.40	840
0.50	830
0.60	810
0.70	780
0.80	770
0.90	770
1.00	760
1.20	760
1.30	760
1.40	760

### c) Tiempo de calentamiento.

El tiempo de calentamiento, para obtener la concentración requerida de carbono y de los elementos de aleación en la austenita se determina mediante la siguiente tabla:

**TABLA 2.2** Tiempo total aproximado, requerido para calentar piezas entre 800-850°C en varios tipos de hornos para realizar el temple. **FUENTE:** Tesis: Ing. VILLACÍS Milton, (2007) "Diseño y construcción de la Máquina Jominy para ensayos de Templabilidad de los Aceros bajo Normas ASTM", Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato. Pág. 11

Tipos de hornos	Tiempo de calentamiento, t por milímetro de sección o espesor de la pieza (min)		
	REDONDA	CUADRADA	RECTANGULAR
Horno eléctrico	40 a 50	50 a 60	60 a 75
Calentamiento			
interno con llama	35 a 40	45 a 50	55 a 60
Baño de sales	12 a 15	15 a 18	18 a 22
Baño de plomo	6 a 8	8 a 10	10 a 12

#### d) Velocidad de enfriamiento.

La velocidad de enfriamiento tiene una gran importancia, sobre la obtención de la estructura martensítica, y por ende lograr la máxima dureza compatible con el acero. Existen algunos factores que modifican la velocidad de enfriamiento entre los cuales tenemos:

- **Temperatura del temple.**

El aumento de la temperatura de temple, se traduce en un aumento de la velocidad crítica de enfriamiento, es decir son directamente proporcionales. El gradiente de temperatura entre el estado austenítico y el medio de enfriamiento, se amplía con el crecer de la temperatura de calentamiento, por consiguiente la condición de enfriamiento, será más energética.



Por otra parte cualquier velocidad de enfriamiento más rápida producirá una estructura martensítica completa, en tanto que cualquier velocidad más lenta produce una estructura martensítica con perlita.

- **Tamaño o grosor de grano**

El grosor del grano tiene gran influencia sobre la velocidad crítica de temple; las velocidades críticas de temple de los aceros de grano fino serán superiores a las de grano grueso.

- **Impurezas del acero**

La presencia de fósforo en los aceros produce propiedades y estructuras heterogéneas; además el fósforo que forma solución sólida, de baja dosificación en el hierro y con tendencia a segregarse por su gran volumen atómico dificulta la homogenización de la austenita y por ende disminuye la calidad del acero.

- **Masa o volumen de la pieza.**

Entre los factores que más influencia tienen, en las características mecánicas y estructurales del acero templado está su tamaño o volumen. En consideración a este factor se da la relación entre el área de la superficie perimetral y el volumen del acero.

$$\frac{\text{Area de la Superficie}}{\text{Masa}} = \frac{\pi * D * L}{\frac{\pi D^2}{4} * L * \rho} = \frac{4}{D * \rho}$$

Donde:

$D$ = Diámetro

$L$ = Longitud

$\rho$ = Densidad

De esta relación; si el diámetro aumenta, disminuye la relación entre el área perimetral y la masa, lo mismo sucede con la velocidad de enfriamiento. [2]

## 2.4.2 MARTENSITA

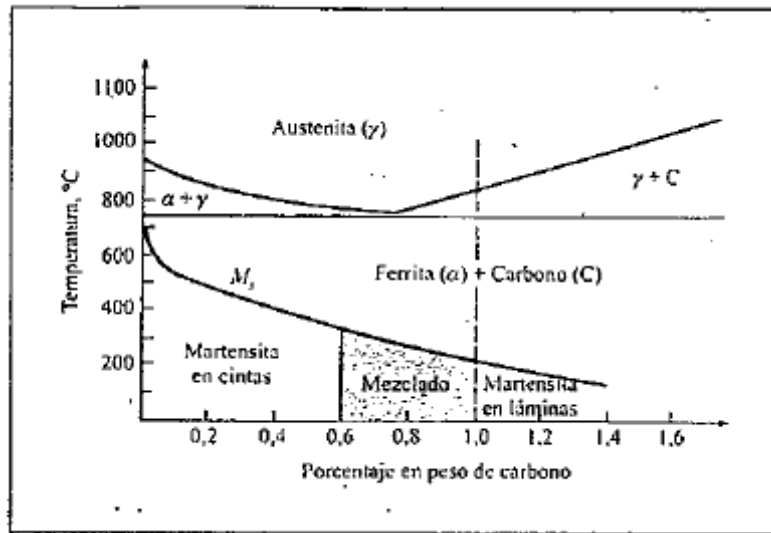
### 2.4.2.1 FORMACIÓN DE LA MARTENSITA Fe-C POR TEMPLE

Si una muestra de acero ordinario al carbono en condiciones austeníticas se enfría rápidamente hasta la temperatura ambiente mediante enfriamiento rápido en agua o cualquier otro medio, su estructura cambiará de austenita a *martensita*. La martensita de los aceros al carbono es una fase metaestable formada por la solución sólida intersticial sobresaturada de carbono en hierro cúbico centrado en el cuerpo o hierro tetragonal centrado en el cuerpo (la tetragonalidad está originada por una leve distorsión de la celda unidad BCC del hierro). A medida que se produce el enfriamiento, la temperatura a la que comienza la transformación de austenita a martensita se denomina temperatura de *inicio de martensita*,  $M_i$  y la temperatura a la cual la transformación termina, temperatura *fin de martensita*,  $M_f$ . La temperatura  $M_i$  para aleaciones Fe-C disminuye a medida que aumenta el porcentaje en peso de carbono en estas aleaciones como se muestra en el gráfico 1 [3]

---

<sup>2</sup> Tesis: Ing. VILLACÍS Milton, (2007) "Diseño y construcción de la Máquina Jominy para ensayos de Templabilidad de los Aceros bajo Normas ASTM", Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato.

<sup>3</sup> SMITH, William, (2005). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería Materiales. Concepción Fernández. España, Madrid. Pág. 423



**GRÁFICO 1** Efecto del contenido en Carbono sobre la temperatura de inicio de transformación de la martensita  $M_i$ , para aleaciones hierro-carbono. **Fuente:** A.R. Marder y G. Krauss, tal y como se presenta en Hardenability Concepts with Applications to Steel AIME, 1978, pág. 238.

#### 2.4.2.2 MICROESTRUCTURA DE LAS MARTENSITAS Fe-C.

La microestructura de las martensitas en aceros ordinarios al carbono depende del contenido de carbono del acero. Si el acero contiene menos de aproximadamente un 0.6% C, la martensita presenta dominios de cintas de orientaciones diferentes aunque limitadas en todo el dominio. La estructura en el interior de las cintas está altamente distorsionada y está formada por regiones con altas densidades de dislocación confusa.

A medida que el contenido de carbono en las martensitas Fe-C se incrementa por encima de aproximadamente el 0.6% C, se empieza a formar un tipo diferente de martensita llamada *martensita laminada*. Aproximadamente por encima del 1% de C, las aleaciones Fe-C constan en su totalidad de láminas de martensita.

Las láminas en martensita Fe-C de alto contenido en carbono varían en tamaño y presentan una estructura fina de maclas paralelas. Las láminas

están rodeadas a menudo por grandes cantidades de austenita sin transformar (retenida). Las martensitas de Fe-C con contenidos de carbono aproximados entre un 0.6 y 1.0% C tienen microestructuras con ambos tipos de martensita, en *cintas* y en *láminas*.<sup>[4]</sup>

#### **2.4.2.3 DUREZA Y RESISTENCIA DE LAS MARTENSITAS Fe-C**

La dureza y resistencia de las martensitas Fe-C están relacionadas directamente con su contenido en carbono y aumentan con él. Sin embargo, la ductilidad y tenacidad también disminuyen a medida que aumenta el contenido de carbono y por ello a la mayoría de los aceros al carbono martensíticos se les suele realizar un recocido por calentamiento a una temperatura inferior a la de transformación -723°C.

Las martensitas Fe-C con bajo contenido de carbono se refuerzan mediante una alta concentración de dislocaciones en formación (martensita en cintas) y mediante una solución sólida intersticial de átomos de carbono. La alta concentración de dislocaciones en las redes (martensita en cintas) crea dificultades para que otras dislocaciones se muevan. Cuando el contenido de carbono se eleva por encima del 0.2%, el refuerzo de la solución sólida intersticial comienza a ser más importante y la red de hierro BCC empieza a distorsionarse hacia la tetragonalidad. Sin embargo, en las martensitas Fe-C con alto contenido de carbono, son las numerosas interfaces macladas de la martensita en láminas las que contribuyen a la dureza.<sup>[5]</sup>

#### **2.4.3 FERRITA**

Con este nombre se designa la solución sólida  $\alpha$ , la cual es una solución sólida intersticial formada por pequeñas cantidades de carbono disueltas en hierro  $\alpha$  (red cúbica de cuerpo centrado).

---

<sup>4,5</sup> SMITH, William, (2005). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería Materiales. Concepción Fernández. España, Madrid. Pág. 424-425-426

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 las que aparecen en el diagrama. El valor medio de sus propiedades es: resistencia a la tracción 28 Kg/mm<sup>2</sup>; alargamiento 40% en 2 pulgadas; dureza inferior a la Rockwell C 0. [6]

#### 2.4.4 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 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/mm<sup>2</sup>; alargamiento 20% en 2 pulgadas; dureza aproximadamente 20 Rockwell C. [6]

#### 2.4.5 ACEROS ESPECIALES

**Concepto de acero:** Acero es una aleación de hierro (Fe) y carbono (C), con un máximo de hasta 2.14% C. Las propiedades del acero pueden ser mejoradas, mediante la adición de elementos como: cromo (Cr), níquel (Ni), molibdeno (Mo), vanadio (V), tungsteno (W), cobalto (Co), manganeso (Mn), entre otros. Al adicionar estos elementos, el acero se denominará “aleado”

ACERO AL CARBONO: —————> Fe + C

Mn – Si son presentes en el acero como desoxidantes.

ACEROS ALEADOS: —————> Fe + C + elementos aleantes

<sup>6</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 189

En el medio comúnmente se maneja aceros al carbono y aceros aleados, así:

Aceros al carbono: AISI 1018 y AISI 1045.

Aceros aleados: AISI 01, AISI D6, AISI D2, AISI 4063, AISI 4340, AISI 6150, 304, 304-L, 316, 316-L, 310S.

Los elementos aleantes pueden darle al acero características como: resistencia al desgaste, tenacidad, resistencia mecánica, inoxidable, dureza, etc.

En nuestro medio podemos decir que la resistencia al desgaste, dureza y tenacidad va ligada a aceros grado herramienta y para ellos debemos usar un artificio de tratamiento térmico. <sup>[7]</sup>

#### **2.4.5.1 ACERO AISI 1045**

- Características

Estos son aceros al medio carbono, procesado en horno eléctrico. En alto contenido de carbono les imparte mejores propiedades de resistencia que el 1018. Las barras laminadas en caliente usadas en la manufacturera de estos aceros son de calidad especial. La mayoría de las barras son estiradas en frío, aunque algunas medidas grandes son torneadas y pulidas. Cuando un alto grado de seguridad dimensional y rectitud se requiere, se recomienda usar la "flecha de precisión", la cual es producida por rectificación y pulido.

- Aplicaciones

Estos aceros se usan cuando se requiere una mayor resistencia de la que puede obtenerse de aceros al bajo carbono, y responde al tratamiento

térmico y una extensa gama de propiedades se puede obtener. Entre sus aplicaciones se incluyen flechas, partes de máquinas, pernos, piñones, engranes, etc.

- Análisis Químico

C = 0.45 - 0.50

S = 0.05 Max

Mn = 0.60 - 0.90

P = 0.04 Max

- Propiedades Mecánicas

Resistencia a la Tracción (580-750 N/mm<sup>2</sup>)

Punto de Cedencia (340 N/mm<sup>2</sup>)

Alargamiento en 5.08 cm (2") 15%

Redondo estirado en frío de (1") 2.54cm

Reducción del área 35%

Dureza Brinell 180 HB

- Maquinabilidad

Tiene un rango de 65% tomando el B-1112 como 100%. El promedio de la velocidad superficial de corte es entre 95 y 105 pies/min. 29-32 m/min

- Soldabilidad

Debido a su alto contenido de carbono, estos aceros no son realmente soldables. Con secciones delgadas y flexibles, la soldadura eléctrica de gas puede usarse sin precalentamiento pero en materiales arriba de 1/5 hasta 3/5", 12.7 - 19.0 mm de espesor, el precalentamiento es necesario para mejorar la resistencia equivalente en la soldadura, se recomienda usar una baja aleación. Un relevado de esfuerzos después de la

---

<sup>7</sup><http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=4&ved=0CCoQFjAD&url=http%3A%2F%2Fcentraltrust.net%2Fivanbohman%2Fproductopdf%2FACEROS%20ESPECIALES%20WEB.pdf&rct=j&q=aceros%20especiales%20aisi%201045&ei=gYT3TeTgIM23twfO4L3hCg&usg=AFQjCNFno5XfTEjkb7cu>

soldadura es recomendable. El grado de la soldadura a usar dependerá del espesor de la sección, diseño, requerimiento de servicio, etc.

- Endurecimiento

Este acero es esencialmente para templar en agua, pero puede ser templado en aceite u otros medios de enfriamiento. Las temperaturas de templado recomendadas son 1550 °F, 842 °C para aceite. Puede obtenerse una amplia gama de propiedades mecánicas templándolo a diferentes temperaturas entre: 700 - 1300 °F, 371 - 704 °C Evitar templar entre: 500 - 700 °F, 260 - 371 °C

#### **2.4.6 ENSAYOS Y PROPIEDADES MECÁNICAS**

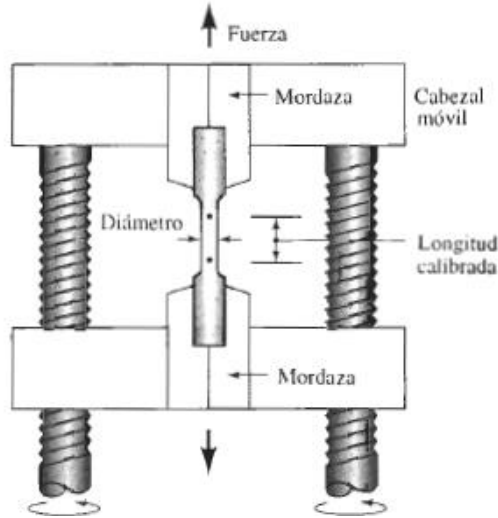
Se selecciona un material al adecuar sus propiedades mecánicas a las condiciones de servicio requeridas para el componente. El primer paso en el proceso de selección requiere que se analice la aplicación, a fin de determinar las características más importantes que el material debe poseer. Una vez, conocidas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

##### **2.4.6.1 ENSAYO DE TENSIÓN**

El ensayo de tensión mide la resistencia de un material a una fuerza estática o gradualmente aplicada. Un dispositivo de ensayo aparece en el gráfico 2.2 una probeta típica tiene un diámetro de 0.505 pulg y una longitud calibrada de 2 pulg. La probeta se coloca en la máquina de pruebas y se le aplica una fuerza  $F$ , que se conoce como carga. Para medir el alargamiento del material causado por la aplicación de la fuerza



en la longitud calibrada se utiliza un extensómetro. En la tabla 2.3 se muestra el efecto de la carga en la longitud calibrada de una barra de aleación de aluminio. [8]



**GRÁFICO 2** Aparato para el ensayo de Tracción. **FUENTE:** Mangonon, Pat L. (2001). Ciencia de Materiales Selección y Diseño. Primera Edición. Pearson. México. Pág. 141

**TABLA 2.3** Resultado de un ensayo de tensión de una barra de aleación de aluminio de 0.505pulg de diámetro. **FUENTE:** ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 131)

Medido		Calculado	
Carga (lb)	Longitud calibrada (plg)	Esfuerzo (psi)	Deformación (plg/plg)
0	2.000	0	0
1000	2.001	5,000	0.0005
3000	2.003	15,000	0.0015
5000	2.005	25,000	0.0025
7000	2.007	35,000	0.0035
7500	2.030	37,500	0.0150
7900	2.080	39,500	0.0400
8000 (carga máxima)	2.120	40,000	0.0600
7950	2.160	39,700	0.0800
7600 (fractura)	2.205	38,000	0.1025

<sup>8</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 130)

### 2.4.6.2 ESFUERZO Y DEFORMACIÓN INGENIERILES

Para un material dado, los resultados de un solo ensayo son aplicables a todo tamaño y formas de muestras, si se convierte la fuerza en esfuerzo y la distancia entre marcas calibradas en deformación. El esfuerzo y la deformación ingenieriles se definen mediante las ecuaciones:

$$\text{Esfuerzo ingenieril } \sigma = \frac{F}{A_o}$$

$$\text{Deformación ingenieril } \varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o}$$

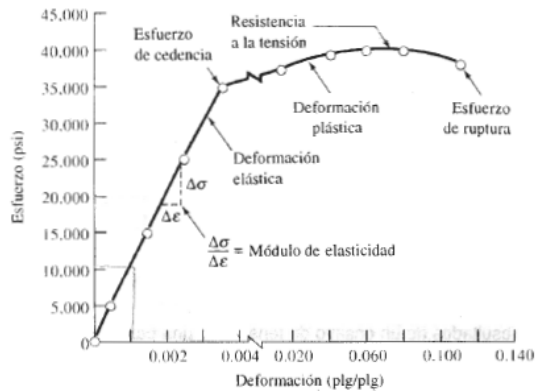
Donde:

$A_o$  =Es el área original de la sección transversal de la probeta antes de iniciarse el ensayo.

$l_o$  =Es la distancia original entre marcas calibradas.

$l_f$  =Es la distancia entre las mismas, después de haberse aplicado la fuerza  $F$ .

Las conversiones de carga-longitud calibrada a esfuerzo-deformación aparecen en la tabla 2.3. La curva esfuerzo deformación se utiliza para registrar los resultados del ensayo de tensión (Gráfico 3).<sup>[9]</sup>



**GRÁFICO 3** Curva esfuerzo-deformación correspondiente a una aleación de aluminio de la tabla 2.3 **FUENTE:** Mangonon, Pat L. (2001). Ciencia de Materiales Selección y Diseño. Primera Edición. Pearson. México. Pág. 142

### 2.4.6.3 PROPIEDADES OBTENIDAS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

A partir de un ensayo de tensión se puede obtener información relacionada con la resistencia, rigidez y ductilidad de un material.

### 2.4.6.4 ESFUERZO DE CEDENCIA

El esfuerzo de cedencia es el esfuerzo al cual la deformación plástica se hace importante. En los metales, es por lo general el esfuerzo requerido para que las dislocaciones se deslicen. El esfuerzo de cedencia es, por tanto, el esfuerzo que divide los comportamientos elástico y plástico del material. Si se desea diseñar un componente que no se deforme plásticamente, se debe seleccionar un material con un límite elástico elevado, o fabricar el componente de tamaño suficiente para que la fuerza aplicada produzca un esfuerzo que quede por debajo del esfuerzo de cedencia. <sup>[9]</sup>

<sup>9</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 134)



**GRÁFICO 4** Esfuerzo de cedencia superior e inferior que describe el comportamiento mecánico de un acero al bajo carbono. **FUENTE:** ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 134)

La curva esfuerzo-deformación para ciertos aceros de bajo carbono presentan un esfuerzo de cedencia o límite elástico doble, se espera que el material se deforme plásticamente al esfuerzo  $\sigma_1$ . Sin embargo, los pequeños átomos intersticiales de carbono agrupados alrededor de las dislocaciones interfieren con el deslizamiento, elevando el punto de fluencia o límite de elasticidad hasta  $\sigma_2$ . Sólo después de haber aplicado un esfuerzo mayor  $\sigma_2$  empiezan a deslizarse las dislocaciones. Después de que se inicia el deslizamiento en  $\sigma_2$ . Las dislocaciones se alejan de los agrupamientos de los átomos de carbono y continúan moviéndose muy aprisa bajo el esfuerzo  $\sigma_1$  menor.

#### 2.4.6.5 RESISTENCIA A LA TENSIÓN

El esfuerzo obtenido de la fuerza más alta aplicada es la resistencia a la tensión, que es el esfuerzo máximo sobre la curva esfuerzo-deformación.

En muchos casos materiales dúctiles, la deformación no se mantiene uniforme. En cierto momento una región se deforma más que otras y ocurre una reducción local de importancia en la sección recta (Gráfico 5).

Esta región localmente deformada se conoce como zona de estricción (encuellamiento). Dado que el área de la sección transversal en este punto se hace más pequeña, se requiere una fuerza menor para continuar su deformación, y se reduce el esfuerzo, calculado a partir del área original  $A_0$ . La resistencia a la tensión es el esfuerzo al cual se inicia este encuellamiento o estricción en materiales dúctiles. <sup>[10]</sup>



**GRÁFICO 5** Deformación localizada durante el ensayo de tensión de un material dúctil produciendo una región de encuellamiento. **FUENTE:** ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 135)

#### 2.4.6.6 PROPIEDADES ELÁSTICAS

El módulo de elasticidad o módulo de Young.  $E$ , es la pendiente de la curva esfuerzo deformación en su región elástica. Esta relación es la LEY DE HOOKE:

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

Este módulo está íntimamente relacionado con la energía de enlace de los átomos. Una pendiente muy acentuada o abrupta en la gráfica fuerza-distancia en la zona de equilibrio indica que se requieren de grandes fuerzas para separar los átomos y hacer que el material se deforme

<sup>10</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 135)

elásticamente. Por tanto, el material tiene un módulo de elasticidad alto. Las fuerzas de enlace y el módulo de elasticidad, por lo general son mayores en materiales de punto de fusión alto.

El módulo es una medida de rigidez del material. Un material rígido, con un alto módulo de elasticidad, conserva su tamaño y su forma incluso al ser sometido a una carga en la región elástica. <sup>[10]</sup>

#### **2.4.6.7 MÓDULO DE RESISTENCIA ( $E_r$ )**

Es el área que aparece bajo la porción elástica de la curva esfuerzo-deformación, la energía elástica que un material absorbe o libera durante la aplicación y liberación de la carga aplicada respectivamente. En el caso de un comportamiento elástico lineal:

$$E_r = \left(\frac{1}{2}\right)(\text{esfuerzo de cedencia})(\text{deformación a la cedencia})$$

La capacidad de un resorte o de una pelota de golf para realizar satisfactoriamente su cometido, depende de un módulo de resistencia alto.

#### **2.4.6.8 DUCTILIDAD**

La ductilidad mide el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse. Se puede medir la distancia entre las marcas calibradas en una probeta antes y después del ensayo. El % de elongación presenta la distancia que la probeta se alarga plásticamente antes de la fractura.

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100$$

Donde:

$l_f$  = distancia entre las marcas calibradas después de la ruptura del material.

Un segundo método para medir la ductilidad es calcular el cambio porcentual en el área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después del ensayo. El % de reducción en área expresa el adelgazamiento sufrido por el material durante la prueba:

$$\% \text{ de reducción} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

Donde:

$A_f$  = Área de la sección transversal en la superficie de la fractura.

La ductilidad es importante tanto para los diseñadores como para los fabricantes. El diseñador de un componente preferirá un material que tenga por lo menos cierta ductilidad, de manera que si el esfuerzo aplicado resulta demasiado alto, el componente se deforme antes de romperse. Los fabricantes también prefieren un material dúctil, a fin de manufacturar formas complicadas sin que se rompan durante el proceso.  
[11]

#### **2.4.6.9 ENSAYO DE DUREZA**

El ensayo de dureza mide la resistencia de la superficie de un material a la penetración por un objeto duro. Se han inventado una diversidad de pruebas de dureza, pero las de uso más común son los ensayos Rockwell y Brinell (Figura 6)

En el ensayo de dureza Brinell, una esfera de acero duro (por lo general de 10mm de diámetro), se oprime sobre la superficie del material. Se mide el diámetro de la impresión generada, comúnmente de 2 a 6 mm, y se calcula el número de dureza o índice de dureza Brinell (abreviado como HB o BHN) a partir de la ecuación siguiente:

---

<sup>11</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 137)

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

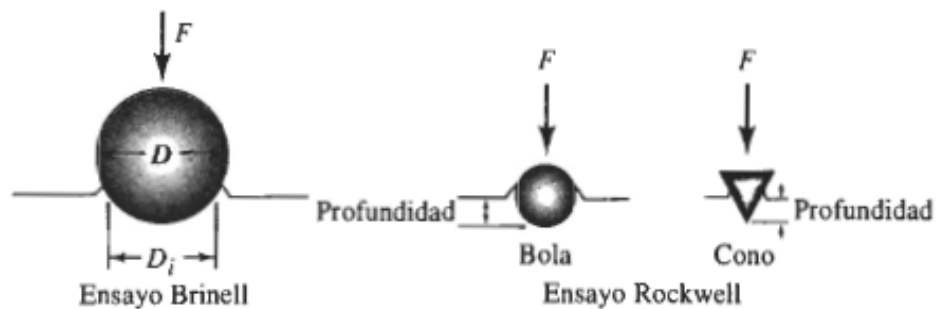
Donde:

$F$ = carga aplicada en kilogramos.

$D$ = diámetro del penetrador en mm.

$D_i$ = diámetro de la impresión en mm.

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



**GRÁFICO 6** Ensayo de dureza Brinell y Rockwell. **FUENTE:** ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 142)



**TABLA 2.4** Comparación de ensayos de dureza Típicos. **FUENTE:** ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 143)

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

Los ensayos Vickers (HV) y Knoop (HK) son pruebas de microdureza; producen penetraciones tan pequeñas que se requiere de un microscopio para obtener su medición.

Los índices de dureza se utilizan principalmente como base de comparación de materiales; de sus especificaciones para la manufactura y tratamiento térmico, para el control de calidad y para efectuar correlaciones con otras propiedades de los mismos. Por ejemplo, la dureza Brinell está relacionada estrechamente con la resistencia a la tracción del acero mediante la relación siguiente:

$$S_{ut} = 500 HB [psi]$$

Según Shigley: Para aceros la relación entre la Resistencia última a la tracción y la dureza Brinell para una dureza de  $200 \leq HB \leq 450$  se define como:

$$S_{ut} = \begin{cases} 495 HB [psi] \\ 3.41 HB [MPa] \end{cases}$$

Se puede obtener un índice de dureza Brinell en unos cuantos minutos sin preparar ni destruir el componente; y obteniendo una buena aproximación de su resistencia a la tensión.

La dureza se relaciona con la resistencia al desgaste. Los dientes de los engranes en la transmisión o en el sistema impulsor de un vehículo deberá ser lo suficientemente duros para que no se desgasten. Generalmente se encuentra que los materiales poliméricos son excepcionalmente blandos, los metales son de dureza intermedia y los cerámicos son excepcionalmente duros. <sup>[12]</sup>

#### **2.4.6.10 ENSAYO DE METALOGRAFÍA**

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

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

Se debe tener en cuenta, los tratamientos recibidos por la pieza en su fabricación, como forjado, laminado, recocido, temple, etc. pues en muchos casos (forjado y laminado) es beneficio contar con muestras en las distintas direcciones de sus fibras. Como se ha indicado, el estudio si se hace sobre superficies convenientemente preparadas de dichas muestras o probetas. Esta preparación consistente en llegar a un pulido casi perfecto, para lo cual se parte de un desbaste que podríamos llamar grueso, con el fin de aplanar la superficie, lo que se consigue con un ajuste a lima o con el auxilio de devastadoras mecánicas de diseño especial.

---

<sup>12</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México. (pág. 142-143)

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

Con tal fin, una vez pulida la superficie se hará en agua caliente, frotándola con un algodón o tela suave para quitarle todo rastro de las operaciones anteriores o grasa que pueda presentar, concluyendo esta limpieza con alcohol etílico o solvente similar y secándola con un soplado de aire caliente.

Las fotografías obtenidas de estos exámenes, genéricamente llamados "Microfotografías", se logran con la ayuda del microscopio metalográfico, cuyos principios ópticos y de observación no difieren mayormente de los comunes. Con iluminación adecuada, se observa por reflexión (los rayos luminosos al incidir sobre el objeto se refleja hacia el ocular), la imagen de la superficie atacada, a través de un sistema de lentes con los que se amplifica según lo que requiera la observación

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

Se sabe que existe cierta relación entre la tenacidad de los aceros y el tamaño de grano.

Siempre se han preferido los aceros de grano fino, porque las herramientas y piezas fabricadas con esos aceros, tiene mayor tenacidad que los fabricados con acero de grano grueso.

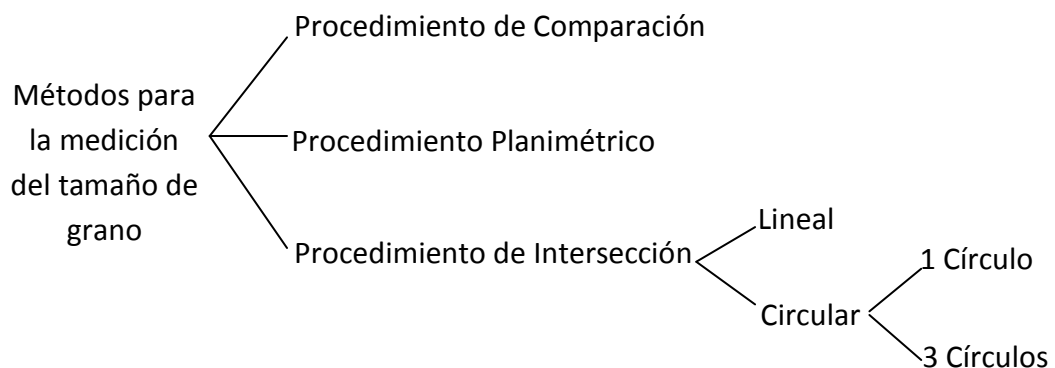
En metalografía a menudo es necesario establecer cuantitativamente valores diferentes tales como:

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

Generalmente, los cálculos de la fracción de volumen a partir de las mediciones cuantitativas sobre una superficie de un material opaco solamente puede, proporcionar valores aproximados. No obstante, este método es empleado casi sin excepción. <sup>[13]</sup>

#### 2.4.7 MÉTODO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO. <sup>[14]</sup>

La norma ASTM E112 describe distintos métodos para la medición del tamaño de grano, los cuales se clasifican de acuerdo a lo siguiente:



<sup>13</sup> <http://tq.educ.ar/grp0128/Ensayos/Metalog.htm>

**Procedimiento de Comparación:** involucra la comparación de la estructura de grano con una serie de imágenes graduadas.

**Procedimiento Planimétrico:** involucra el conteo del número de granos dentro de un área determinada.

**Procedimiento 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.

Para poder realizar mediciones sobre las imágenes obtenidas en el microscopio es necesario ajustar el tamaño de la imagen en el papel de manera que no se modifique la magnificación obtenida mediante el microscopio.

#### 2.4.7.1 Procedimiento de Comparación

En el gráfico 2.7 se observan las distintas plantillas de comparación. 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 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 2.5** Factor de corrección Q.

**FUENTE:** <http://www.ArchivosMatII%2FTAMANODEGRANO.pdf%20grano%20astm>

Magnificación M	Factor de corrección Q (para Mb=100x) $Q = 6,64 \log_{10} \left( \frac{M}{Mb} \right)$
50x	-2
100x	0
200x	2
400x	4



**GRÁFICO 7** Plantillas de Comparación.

**FUENTE:** <http://www.ArchivosMatII%2FTAMANODEGRANO.pdf%20grano%20astm>

#### 2.4.7.2 Procedimiento Planimétrico

La figura 2.8 muestra en el centro un círculo con una superficie de  $5000\text{mm}^2$ . El círculo exterior tiene un diámetro de  $175\text{mm}$ , 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 E-112. (Anexo B2).

$$N_A = \text{granos por } \text{mm}^2$$

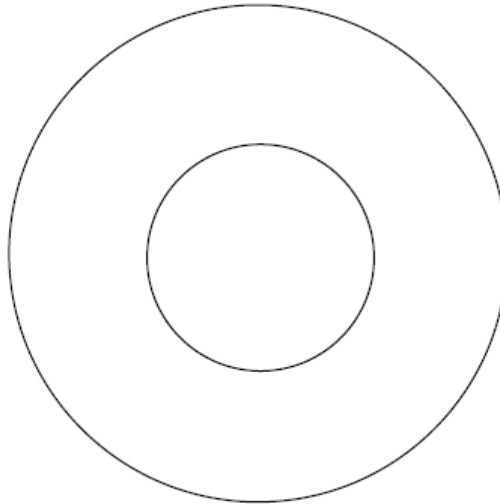
$$N_i = \text{número de granos dentro del círculo}$$

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

$$f = \text{múltiplo de Jeffries}$$

$$N_A = f * \left( N_i + \frac{N_{int}}{2} \right)$$

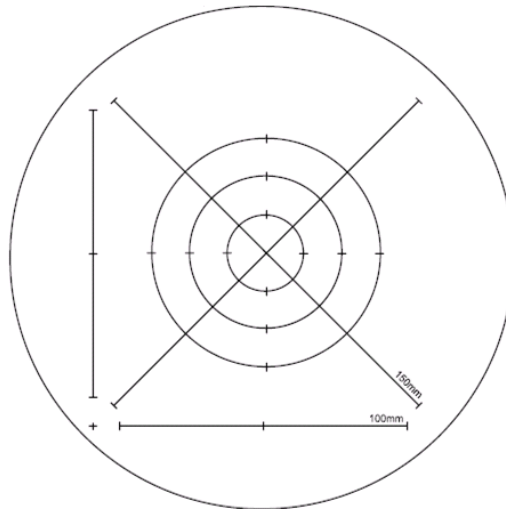
Para un área de  $5000\text{mm}^2 \rightarrow f = 0.0002 * M^2$  ( $M = \text{magnificación}$ )



**GRÁFICO 8** Método Planimétrico (Área del círculo del centro  $5000\text{mm}^2$ ).  
**FUENTE:** <http://www.ArchivosMatII%2FTAMANODEGRANO.pdf%20grano%20astm>

#### 2.4.7.3 Procedimiento de Intersección

La figura 2.9 muestra las distintas geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección. Las cuatro líneas rectas de la figura 2.9 corresponden al método de Heyn. El método de Hilliard utiliza una circunferencia generalmente de 100, 200 o 250 mm de perímetro. Las tres circunferencias corresponden al método de Abrams (entre las tres suman una longitud de 500mm).



**GRÁFICO 9** Geometrías utilizadas para el Método de comparación.  
**FUENTE:** <http://www.ArchivosMatII%2FTAMANODEGRANO.pdf%20grano%20astm>

Reglas de conteo:

Una intercección 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.

$N_i = \text{Granos interceptados}$

$\bar{N}_L = \text{Número de granos por mm}$

$$\bar{N}_L = \frac{N_i}{L/M}$$

$L = \text{longitud (500mm)}$

$M = \text{magnificación}$

$$G = (6,643856 \text{ Log}_{10} \bar{N}_L) - 3.288 \text{ (tamaño de grano ASTM)}^{[14]}$$



## 2.4.8 GRASAS VEGETALES

Las grasas son los constituyentes principales de las células almacenadoras de grasas en animales y plantas y constituyen una de las reservas alimenticias importantes del organismo de donde se las puede extraer.

Las grasas líquidas se denominan aceites y se las obtiene de plantas, ejemplo: maíz, soya, palma, etc. Las sólidas se denominan grasas y se las obtiene de animales. Ejemplo: cerdo, vacunos.

En realidad son mezclas íntimas de las 2 fases sólida y líquida, consistentes de cristales microscópicos de grasa.

Desde el punto de vista químico las grasas y aceites son mezclas de triglicéridos nombre que se da a los triésteres de glicerol. <sup>[15]</sup>

### 2.4.8.1 Fuentes

Los aceites se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza formando parte esencial de los animales y plantas.

La mayor parte de los aceites se obtienen actualmente de las semillas oleaginosas de plantas anuales como lino, soya, algodón, etc.

Otras fuentes de aceites vegetales son ciertos árboles productores de frutos oleaginosos entre los que se tienen la palma, olivo, etc. El aceite de oliva y palma se obtienen de la pulpa del fruto. Estas plantas se dan en climas cálidos. <sup>[15]</sup>

---

<sup>14</sup>[http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=10&ved=0CFwQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fainweb.uncoma.edu.ar%2Fmaterias%2Fmateriales\\_II%2FArchivos\\_MatII%2FTAMANO\\_DE\\_GRANO.pdf&rct=j&q=tama%C3%B1o%20de%20grano%20astm&ei=9Yz3TdxIB-qv0AGZzqCcCw&usg=AFQjCNHi9VZ5FIMVV9IzKkBAoYJLcRmSMg&cad=rja](http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=10&ved=0CFwQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fainweb.uncoma.edu.ar%2Fmaterias%2Fmateriales_II%2FArchivos_MatII%2FTAMANO_DE_GRANO.pdf&rct=j&q=tama%C3%B1o%20de%20grano%20astm&ei=9Yz3TdxIB-qv0AGZzqCcCw&usg=AFQjCNHi9VZ5FIMVV9IzKkBAoYJLcRmSMg&cad=rja)

Se los obtiene de sus fuentes naturales mediante prensado, fusión y extracción por solventes.

#### **2.4.8.2 Propiedades Físicas**

Tienen una gran importancia práctica y se las utiliza en la caracterización e identificación:

a) Untuosidad.- Es la característica más notable de aceites y grasas, es la capacidad para formar películas lubricantes asemejándose a los hidrocarburos de cadena larga.

b) Viscosidad.- es la resistencia a fluir. Los aceites deben su alta viscosidad a la estructura en largas cadenas de sus moléculas de glicéridos. Disminuye con el aumento de la temperatura.

c) Tensión Superficial.- Aumenta al crecer la longitud de la cadena del ácido. Disminuye con el aumento de la temperatura.

d) Puntos de Fusión.- Los puntos de fusión de los ácidos grasos aumentan con la longitud de la cadena y disminuyen con el aumento de la insaturación. Los ácidos grasos puros y sus triglicéridos son polimórficos, es decir solidifican en diferentes formas cristalinas que son lo suficientemente estables como para mostrar diferentes puntos de fusión.

Las grasas vegetales y los aceites incluyen las grasas vegetales y los aceites no sólo comestibles, también no comestibles tales como el procesado aceite de linaza, y aceite de ricino, utilizado en lubricantes, pinturas, cosméticos, productos farmacéuticos, y otros propósitos industriales. <sup>[15]</sup>

---

<sup>15</sup> <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090620170500AAQuLEB>

### **2.4.8.3 MANTECA VEGETAL**

Es una manteca vegetal producida con una mezcla de aceites vegetales comestibles de la más alta calidad. Su olor y sabor neutros son el resultado de un estricto control en los procesos de refinación, blanqueo, hidrogenación y desodorización. Sus características y consistencia hacen de la manteca Lirio una de las preferidas por los consumidores para la panificación y elaboración de tortilla de harina.

- Aplicaciones: Panadería y repostería, producción de tortilla de harina, freído profundo y superficial.
- Ventajas: Su característica consistencia y color blanco la hacen un producto superior para procesar alimentos de calidad libres de olores y sabores extraños. <sup>[15]</sup>

### **2.4.8.4 MANTECA SIMPLE**

Manteca, nombre que se aplica a la grasa de los animales y sobre todo a la del cerdo. En términos químicos, es un tipo de lípido, un triglicérido, compuesto por ésteres del alcohol glicerina y tres moléculas de ácidos grasos; es sólido a temperatura ambiente. Los triglicéridos son uno de los componentes principales del depósito de grasa de reserva en las células animales y vegetales. Por extensión, se denomina manteca a la grasa de algunos frutos, como la manteca de cacao y la de coco. La primera es extraída de los frutos del cacao y se utiliza en la elaboración de chocolates, como suavizante de la piel, en la preparación de cosméticos y en la composición de supositorios; la manteca de coco se extrae del coco y se utiliza para la fabricación de jabones y la preparación de grasas alimenticias. La manteca simple está hecha de grasa comestible de origen animal, y la manteca de vegetal está hecha de grasa comestible de animal mezclado con aceite vegetal. <sup>[16]</sup>

---

<sup>15</sup> <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090620170500AAQuLEB>

<sup>16</sup> <http://www.productoslirio.com/mantecas.htm>

## **2.4.9 ACEITE VEGETAL**

El aceite vegetal puede provenir de frutos o semillas como: la aceituna (fruto del olivo), la soja, la palma, tanto del fruto como del hueso, el sésamo, el arroz, el maíz, el lino, el cártamo, el cáñamo, la colza, en especial la variedad canola originaria de Canadá, que es una variedad apta para consumo humano, la almendra, la nuez, la avellana, etc.

### **2.4.9.1 ACEITE DE OLIVA**

La pulpa contiene alrededor del 75% de aceite sobre peso seco. El aceite de oliva extraído mecánicamente (aceite de oliva virgen), como todas las grasas comestibles, está formado fundamentalmente por triglicéridos, con una pequeña proporción de otros lípidos, menor que la de la mayoría de las otras grasas vegetales no refinadas.

La composición de ácidos grasos del aceite de oliva es variable entre ciertos márgenes, dependiendo en gran parte de la variedad de aceituna utilizada, así como del clima, suelo, etc., pero siempre con un gran predominio del ácido oleico, que representa más de la mitad y usualmente más de las tres cuartas partes del total de ácidos grasos presentes. <sup>[17]</sup>

### **2.4.9.2 ACEITE DE PALMA**

Aunque se obtienen del fruto del mismo vegetal, se confunden con mucha frecuencia, el aceite de palma y el aceite de nuez de palma son productos totalmente distintos. El “aceite de palma” se obtiene de la pulpa del fruto de la palma de aceite, que es de color anaranjado. La palmera de aceite es muy productiva. De cada árbol puede obtenerse anualmente hasta 20 toneladas de racimos cada año. Tanto la pulpa del fruto como la semilla contienen alrededor del 50% de aceite. El aceite de palma se refina para

eliminar el color, y generalmente se fracciona, para obtener separadamente una grasa que es sólida a temperatura ambiente y otra que es líquida. <sup>[17]</sup>

#### **2.4.9.3 ACEITE DE GIRASOL**

Las semillas contienen alrededor del 40% de aceite y del 25% de proteína, utilizada para alimentación del ganado. El aceite tal como se extrae contiene algo menos del 4% de lípidos polares (fosfolípidos) El aceite de girasol es muy rico en ácido linoléico, y consecuentemente, fácilmente oxidable. Recientemente se han seleccionado variedades con un contenido mayor de oleico y menor de linoleico, que le dan una composición global con semejanzas notables con el aceite de oliva, y consecuentemente, mayor resistencia a la oxidación y posibilidades de uso. <sup>[17]</sup>

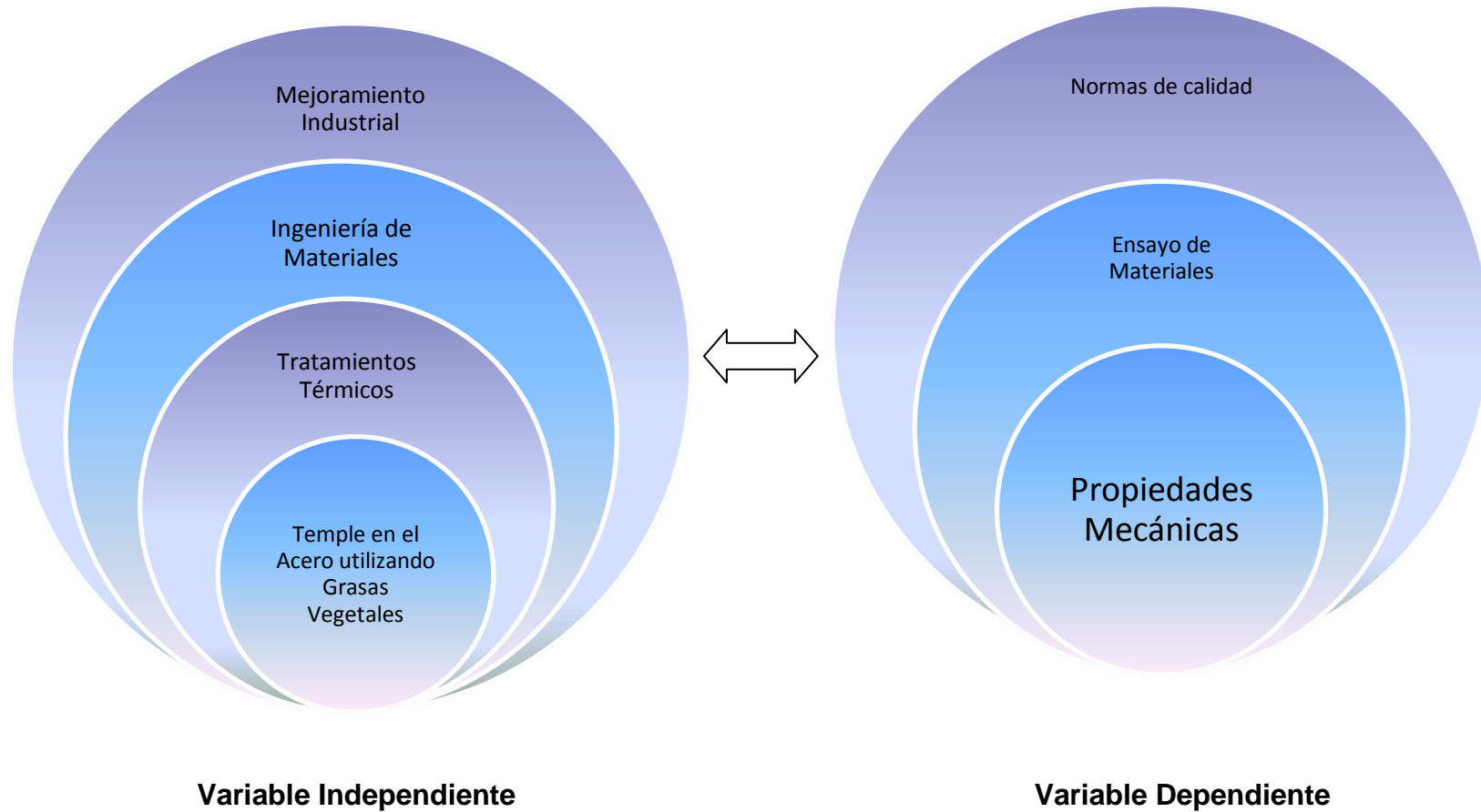
#### **2.4.9.4 ACEITE DE MAÍZ**

Este aceite se obtiene del germen del maíz, recuperado como subproducto de la industria de la obtención de almidón, glucosa y fructosa. Tal como se extrae, contienen alrededor de un 20% de lípidos distintos de los triglicéridos, especialmente fosfolípidos. También contienen una cantidad elevada de tocoferoles, hasta 1 g/kg, lo que hace que sea relativamente estable, a pesar de su elevada insaturación. Como sucede en otros aceites vegetales, en el aceite de maíz el ácido palmítico ocupa preferentemente las posiciones 1 y 3 de los triglicéridos. <sup>[17]</sup>

---

<sup>17</sup> <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/lipidos/vegcomunes.html>

## 2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



## **2.6 HIPÓTESIS.**

La utilización de Grasas Vegetales como medio de enfriamiento en el temple del Acero dará mejores Propiedades Mecánicas en grados menores a un 10% en comparación con otros medios comúnmente utilizados (Agua, Aceite).

## **2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.**

### **2.7.1 Variable independiente:**

Temple en el Acero utilizando Grasas Vegetales

### **2.7.2 Variable dependiente:**

Propiedades Mecánicas

### **2.7.3 Término de relación:**

Incidencia

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

En el presente estudio predominan los datos cuantitativos, razón por la cual se utilizarán variables cuantitativas de tipo continuas precisamente porque se manejarán datos numéricos con fraccionamientos, los cuales a su vez serían explicativos, porque se realizará diferentes tipos de ensayos para determinar las Propiedades Mecánicas del Acero realizando el tratamiento térmico Temple utilizando Grasas Vegetales, sin embargo se realizará una investigación cualitativa por utilizar normas de calidad.

La información necesaria e indispensable para la realización del estudio proviene principalmente de fuentes primarias y secundarias, realizando posteriormente el análisis de las mismas.

Las fuentes primarias nos proporcionarán información importante, la cual será recolectada en fuentes como en libros, tesis, documentales, internet, etc.

Las secundarias son resúmenes y listados de referencias que estén vigentes en determinadas áreas de estudio, así como personas entendidas en el tema que puedan brindar ayuda en base a su experiencia.

En lo referente a los indicadores se manejarán tablas, gráficas de barras, gráficas de dispersión, entre otros con la finalidad de detallar los resultados obtenidos en el estudio realizado.



## **3.2 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN**

**3.2.1.1 Bibliográfica.** El estudio se lo realizará basándose en información obtenida en fuentes tales como libros, revistas, tesis e internet necesarios para una correcta investigación basándose en normas.

**3.2.1.2 Experimental.** Se realizará el debido análisis en los laboratorios de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en base a los ensayos que puedan garantizar los mejores resultados en cuanto a propiedades mecánicas del Acero.

### **3.2.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

**3.2.2.1 Descriptiva.-** La presente investigación tiene la modalidad de estudio descriptiva pues su objetivo principal es la descripción de fenómenos en este caso las Propiedades Mecánicas utilizando medios de enfriamiento como las Grasas Vegetales para realizar el Temple. Se sitúa en un primer nivel del conocimiento científico. Se estudiará los fenómenos tal y como aparecen en el desarrollo de todos los ensayos que se van a realizar en el presente estudio.

**3.2.2.2 Exploratoria.-** Es una investigación en la cual será necesario identificar los parámetros con los cuales se pueda determinar los que tengan más influencia en el análisis de las propiedades mecánicas del Acero.

**3.2.2.3 Asociación de variables.-** La gran importancia de establecer una relación recíproca de las diferentes partes de la investigación (Variable dependiente e independiente), hace que este tipo sea fundamental dentro

de la misma. Mediante la cual se podrá indicar el grado de dependencia entre los diferentes parámetros de estudio.

**3.2.2.4 Explicativa.-** Se explicará los diferentes aspectos en forma detallada y el estudio de sus relaciones para conocer la estructura y los aspectos que intervienen en la dinámica del estudio.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1 Población.**

En el presente estudio se procederá a definir la población la cual será objeto de investigación por tratarse de un análisis donde no hay estudios realizados los mismos son:

1. Acero.
2. Tratamientos Térmicos.
3. Medio de enfriamiento.
4. Calentamiento del Material.

#### **3.3.2 Muestra.**

Las probetas a considerar dentro del desarrollo de la investigación serán de Acero AISI 1045 las cuales tienen un porcentaje de carbono adecuado para realizar el Temple, las mismas que tendrán variación de cinco medios de enfriamiento Grasas Vegetales y dos convencionales, volumen de las probetas, temperatura del medio de enfriamiento una a temperatura ambiente y otra a una temperatura superior a la ambiente.

### 3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.4.1 Variable Independiente:

Temple en el Acero utilizando Grasas Vegetales

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Temple es un tratamiento térmico que consiste en calentar un producto siderúrgico, durante cierto tiempo, a una temperatura generalmente por encima del punto crítico superior y luego enfriarlo bruscamente en un medio líquido o gaseoso y a veces por contacto con un sólido dependiendo de las dimensiones de la misma.	Temperatura	Alta	Temp. Superior al ambiente	Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos
		Baja	Temperatura ambiente	
	Tipo de grasas Vegetales	Pesada	Viscosidad alta Viscosidad baja	Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos
		Liviana	Viscosidad alta Viscosidad baja	
	Volumen de la probeta	Mayor	1/2" x 5"	Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos
		Menor	5/8" x 2"	

### 3.4.2 Variable Dependiente:

Propiedades Mecánicas.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
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. Dichas propiedades se han obtenido a partir de ensayos	Tensión	Óptima Baja	66.70 Kg/mm <sup>2</sup> 45.00 Kg/mm <sup>2</sup>	Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos
	Dureza	Óptima  Baja	-50-62 HR -60-75 HR -220-265 HB -250-280 HB	Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos
	Estructura Metalográfica	Microestructura	Austenita  Martensita	Observación directa: Formatos o fichas para toma de datos

### **3.5 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.**

De acuerdo al desarrollo de la operacionalización de variables se recolectó la información por medio de la siguiente técnica con sus respectivos instrumentos:

**3.5.1 Observación.-** Para lo cual se tomó notas de todo lo que se consideró necesario, para describir los hechos de significación especial que ayudará a tener una base informativa suficiente; se utilizó un cuaderno de notas para describir todo lo observado, además se anotó fechas, características, cantidades, como medios de recolección de la información se utilizó varios equipos como son los que el laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato tiene a la disposición.

### **3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.**

#### **3.6.1 Plan de procesamiento de la información recogida.**

- Los datos fueron recogidos y analizados de una manera crítica debido a que muchos podrían tener datos anómalos, razón por la cual tienen que ser separados.
- Se utilizó varias fuentes para verificar la veracidad de la recolección de datos ya que estos tienen una gran incidencia en el desarrollo del estudio.
- Tabulación de los datos de acuerdo a los parámetros y a la relación que tengan con las variables de la hipótesis.
- Porcentual: Se obtuvo la relación porcentual con respecto al total de los indicadores, con el resultado numérico y con el porcentaje se estructuró el cuadro de resultados que sirve de base para graficar.

- Representación de los resultados obtenidos a través de gráficas estadísticas de temperatura vs tiempo para el baño en Grasas Vegetales.

### **3.6.2 Plan de análisis e interpretación de resultados.**

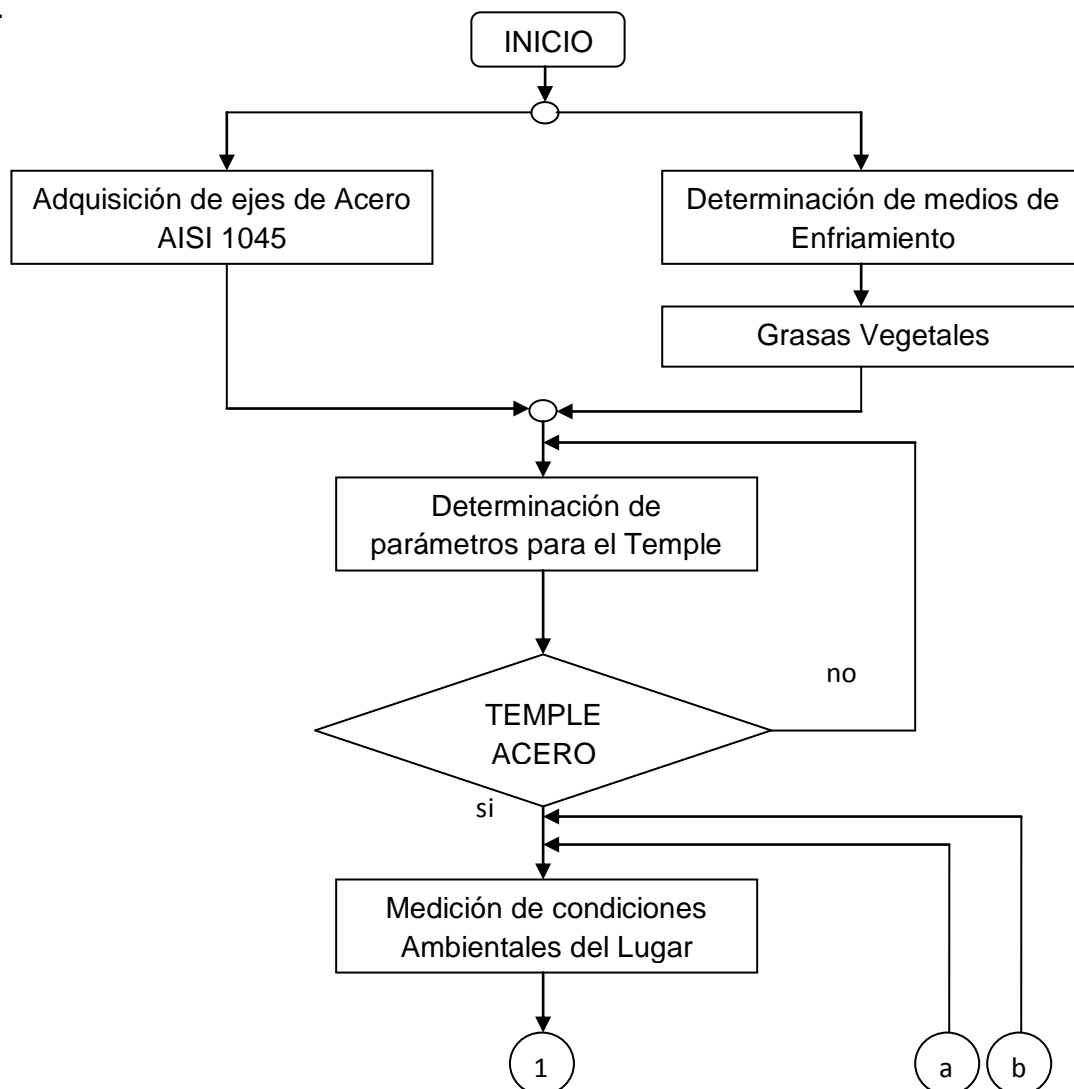
- Análisis de tensión para determinar la resistencia a la Tracción que tiene el Acero previo Tratamiento Térmico, y realizando el Temple en medios de enfriamiento como son las Grasas Vegetales.
- Análisis de dureza en las probetas que están templadas en las diferentes condiciones de variación de temperaturas en los diferentes medios de enfriamiento como son las Grasas Vegetales.
- Análisis metalográfico para determinar la Microestructura de las probetas realizadas mencionado tratamiento térmico.
- Análisis de los parámetros críticos que intervienen en la calidad del temple en el Acero previamente realizado el tratamiento térmico.
- Interpretación de resultados con el fundamento del marco teórico.
- Comprobación de la hipótesis.
- Establecer conclusiones y recomendaciones.

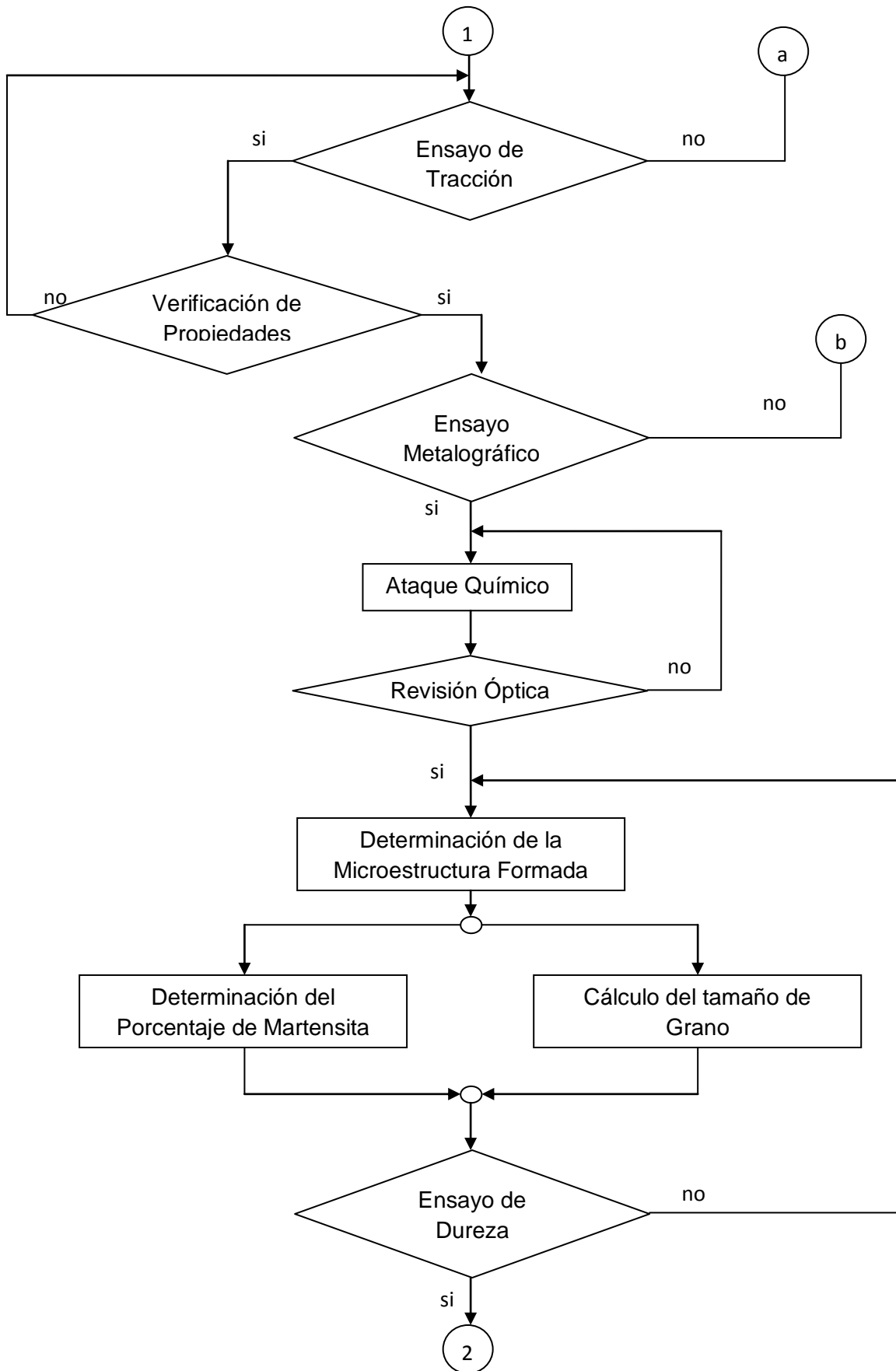
## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

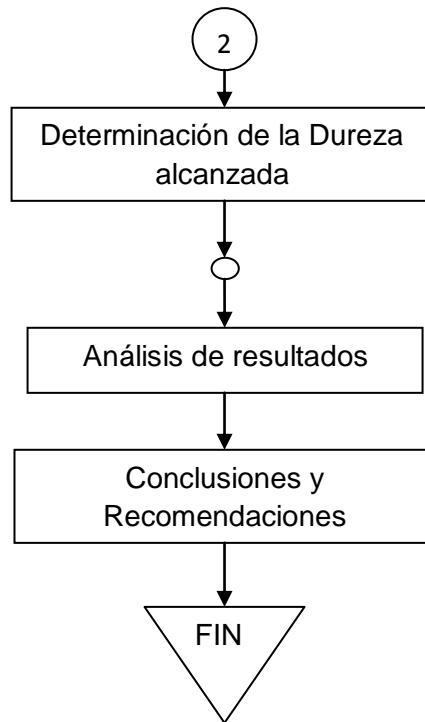
#### 4.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

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 del Temple en el Acero AISI 1045 utilizando Grasas Vegetales y la incidencia en las Propiedades de interés









#### **4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:**

Con la finalidad de obtener un correcto manejo de los resultados y de la información correspondiente a los ensayos realizados durante el desarrollo del trabajo se ha establecido un formato para la toma de datos y resultados, para conocer las propiedades de interés en el estudio realizado.

#### 4.2.1 EVALUACIÓN DEL ACERO AISI 1045 COMO VIENE DE FÁBRICA

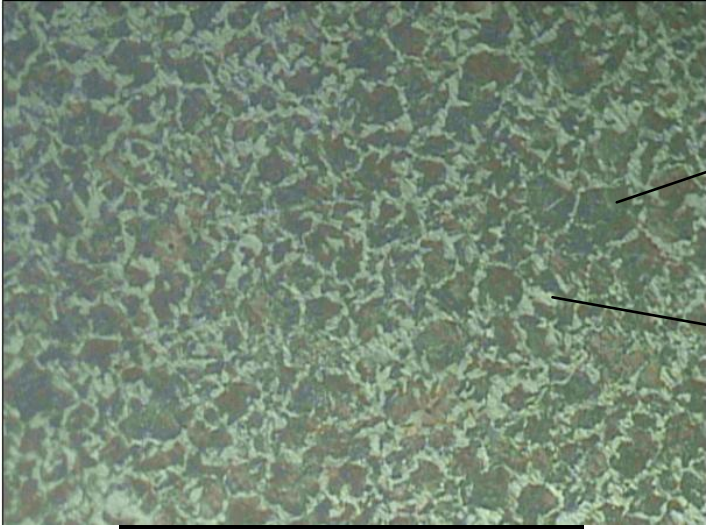


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 001
PROBETA Nº	01	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Egda. Ximena Criollo
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	15/02/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	20°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

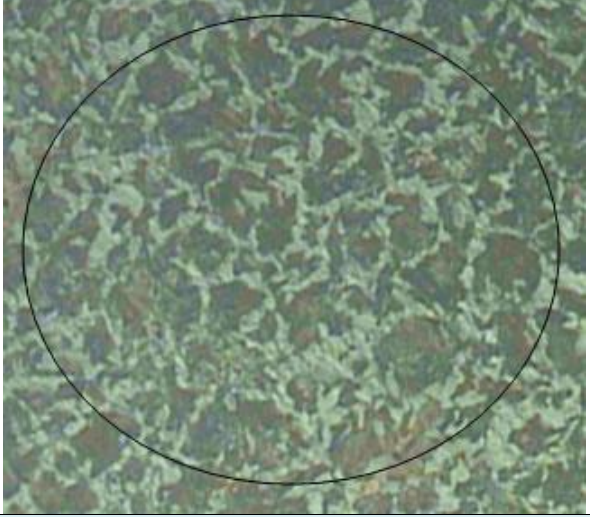
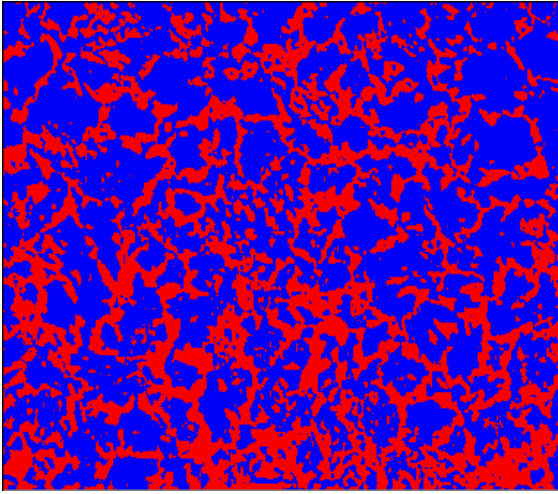
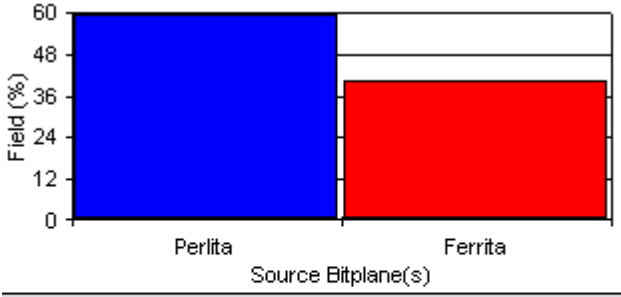
ESPECIFICACIONES DEL ACERO UTILIZADO				
				DETALLE REFERENCIAL
Especificación Material	Acero	Tipo o grado:	AISI 1045	
Diámetro:	1/2"	Resistencia a la tracción:	580-700 N/mm <sup>2</sup>	
Longitud:	2"	Dureza:	180 HB	
Características:	Eje	Tratamiento Térmico:	Recocido	
<b>OBSERVACIÓN:</b>				
Propiedades tomadas de la tabla de aceros BOHLER Acero AISI 1045 como viene de Fábrica en estado de recocido. (Anexo A4)				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

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

ENSAYO METALGRÁFICO				REG: E.M. 001
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 01	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	15/02/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20°C	<b>Radiación:</b>	13.21 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	30 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 COMO VIENE DE FÁBRICA (100_X)</b>				
				
Acero AISI 1045, 100X, Nital 2, 30 seg.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			REG: E.D. 001
DESCRIPCIÓN:			
<b>Método:</b>	Brinell	<b>Tipo:</b>	
<b>Tipo de penetrador:</b>		Identador 2.5mm	
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	1839 Kgf	<b>Tiempo de ensayo:</b>	10 min
<b>RESULTADO:</b> Diámetro de la marca 1.1175 lo cual da 181 HB de dureza. Que en comparación con el catálogo de aceros Bohler es el indicado			
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>			

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

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		REG: Ev.M. 001						
<b>Determinación del tamaño de grano:</b>		<b>Microestructura:</b>						
<b>Método:</b> (ASTM E 112)	Planimétrico							
<b>Cálculos:</b>								
$NA = f \left( Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left( 112 + \frac{51}{2} \right) = f * 137.5$ $f = 2 \text{ por Jeffries (100\_X)}$ $NA = 2 * 137.5 = 275$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log (275) - 2.954$								
<b>Tamaño de grano:</b>	5.14							
<b>Componentes:</b>		Ferrita y Perlita						
<b>Componentes Microestructurales:</b>		<b>Porcentajes:</b>						
		 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>59,4</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>40,6</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">MATRIZ : FERRÍTICA</p>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Perlita	59,4	Ferrita	40,6
S. Bitplane(s)	Field (%)							
Perlita	59,4							
Ferrita	40,6							

**Resistencia a la Tracción aproximada (R.T.A.)****Cálculos:**

$$R.T.A = \frac{28 * (\%Ferrita) + 84 * (\%Perlita)^{[18]}}{100}$$

$$R.T.A = \frac{28 * (40.6) + 84 * (59.4)}{100}$$

<sup>18</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 189

$$R.T.A = 61.26 \text{ Kg}f/mm^2 \text{ (} 600.4 \text{ N/mm}^2\text{)}$$

**Porcentaje de Carbono (%C)****Cálculos:**

$$\%C = \frac{\% Perlita^{[19]}}{130}$$

$$\%C = \frac{59.4}{130}$$

<sup>19</sup> CALLISTER, William D. (2007). Materials Science and Engineering. (Seven Edition). John Wiley & Sons, Inc. United States of America. Pág. 294

$$\%C = 0.456$$

**Interpretación de Resultados:**

La microestructura del acero AISI 1045 analizada como viene de fábrica y utilizando software, tiene un tamaño de grano ASTM G=5.14 Está constituida por Ferrita y Perlita en porcentajes de 40.6% y 59.4% respectivamente. Estos porcentajes permiten determinar la resistencia a la Tracción Teórica la cual se calcula mediante la ecuación antes expuesta dando un valor de  $61.26 \text{ Kg}f/mm^2 \text{ (} 600.4 \text{ N/mm}^2\text{)}$ . Además se determina el porcentaje de Carbono el mismo que es 0.456%C.


**Autor: Egda. Ximena Criollo**

## 4.2.2 EVALUACIÓN DE LAS PROBETAS DE ACERO AISI 1045 TEMPLADAS UTILIZANDO GRASAS VEGETALES COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO.



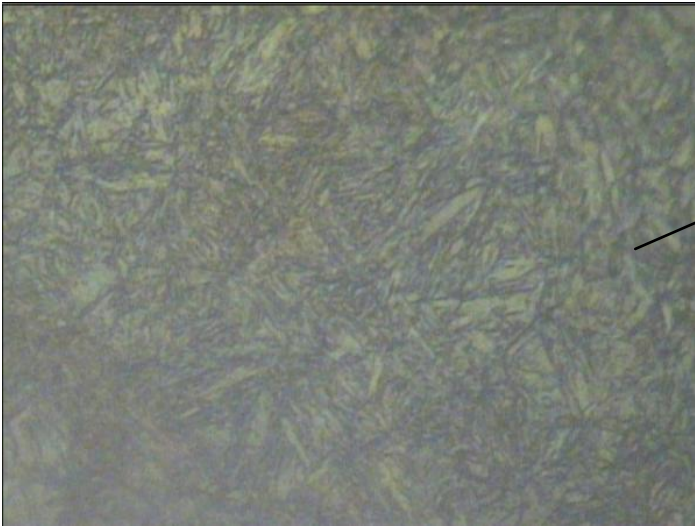
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 002
<b>ENSAYO 1</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	02	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	15/02/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	22°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Convencional	<b>Medio:</b>	AGUA	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	16°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad H2O:</b>	998 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	1.02 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	1/2"				
<b>Longitud:</b>	2"				
<b>Características:</b>	Eje				

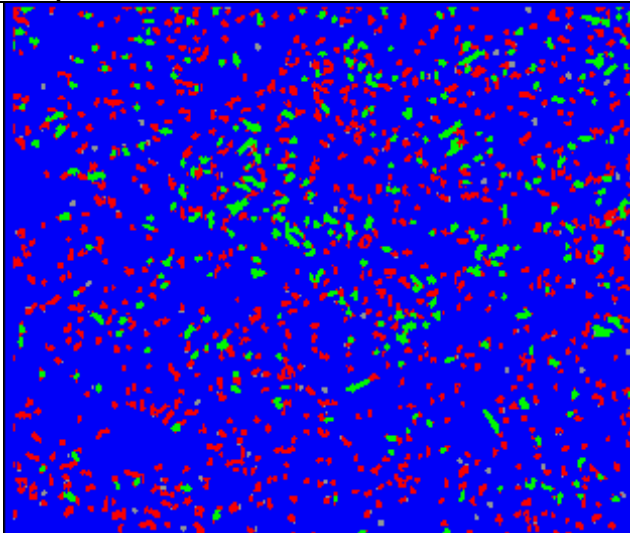
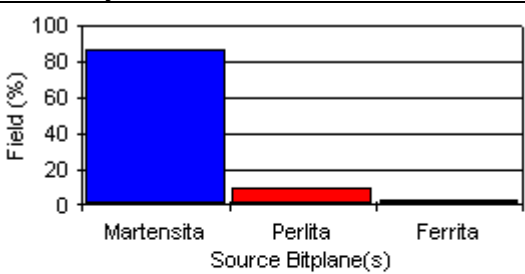
**Autor: Egda. Ximena Criollo**

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

ENSAYO METALGRÁFICO				REG: E.M. 002
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 02	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	16/02/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	22°C	<b>Radiación:</b>	13.21 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN UN MEDIO CONVENCIONAL COMO ES EL AGUA (400_X)</b>				
				
Acero AISI 1045, Templado en Agua, 400X, Nital 2, 5 seg.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA				REG: E.D. 002
DESCRIPCIÓN:				
<b>Método:</b>	Rockwell	<b>Tipo:</b>	C	
<b>Tipo de penetrador:</b>	Cono de diamante			
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	1471 Kgf	<b>Tiempo de ensayo:</b>	10 min	
RESULTADO:				
Centro de la probeta 53 HRC Periferia de la probeta 55 HRC				
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 56 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en un medio CONVENCIONAL como es el AGUA.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

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

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		REG: Ev.M. 002								
<b>Componentes:</b>	Martensita, Ferrita y Perlita									
<b>Componentes Microestructurales:</b>		<b>Porcentajes:</b>								
		 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Martensita</td> <td>86,4</td> </tr> <tr> <td>Perlita</td> <td>9,4</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>3,6</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Martensita	86,4	Perlita	9,4	Ferrita	3,6
S. Bitplane(s)	Field (%)									
Martensita	86,4									
Perlita	9,4									
Ferrita	3,6									
		MATRIZ: MARTENSÍTICA								
<b>Cálculo de la Dureza utilizando la regla de fases:</b>										
$HB = \frac{(HB_{Ferrita})\%Ferrita + (HB_{Perlita})\%Perlita + (HB_{Martensita})\%Martensita}{100}^{[20]}$										



$$HB = \frac{(90)\%Ferrita + (300)\%Perlita + (640)\%Martensita}{100}$$

$$HB = \frac{(90)3.6 + (300)9.4 + (640)86.4}{100}$$

$$HB = 584.4 \text{ HB}$$

<sup>20</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 188-189

$HB = 584.4 \text{ HB} \approx 57.22 \text{ HRC}$  según tabla de conversión (Anexo A3)

#### **Interpretación de Resultados:**


La microestructura del acero AISI 1045 analizada realizando el Tratamiento Térmico Temple con enfriamiento en un medio convencional como es el AGUA, está constituida en la mayoría por Martensita en un porcentaje de 86.4%, por Ferrita en un 3.6% y Perlita en 9.4%. El porcentaje de Martensita obtenido es aceptable pues corresponde a una dureza alta que es de 55 HRC en la periferia de la probeta ensayada.

**Autor: Egda. Ximena Criollo**



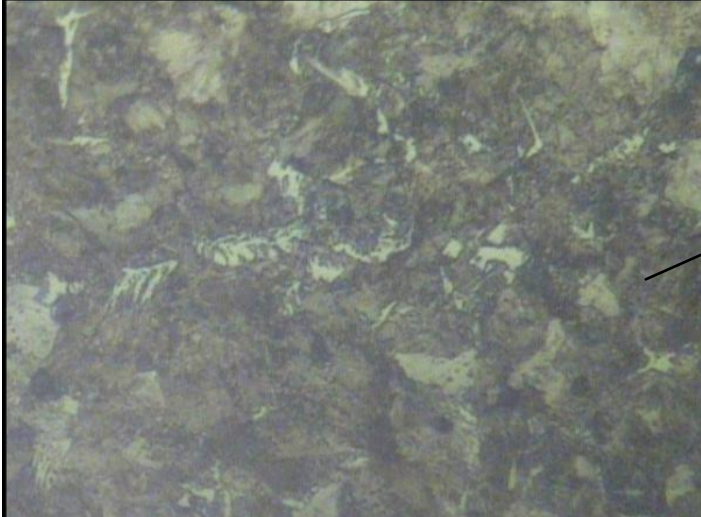
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 003
<b>ENSAYO 1</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	03	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	15/02/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>			22°C	<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Convencional	<b>Medio:</b>	ACEITE SAE 10W30	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	17.5°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	880 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	72.2 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	1/2"				
<b>Longitud:</b>	2"				
<b>Características:</b>	Eje				

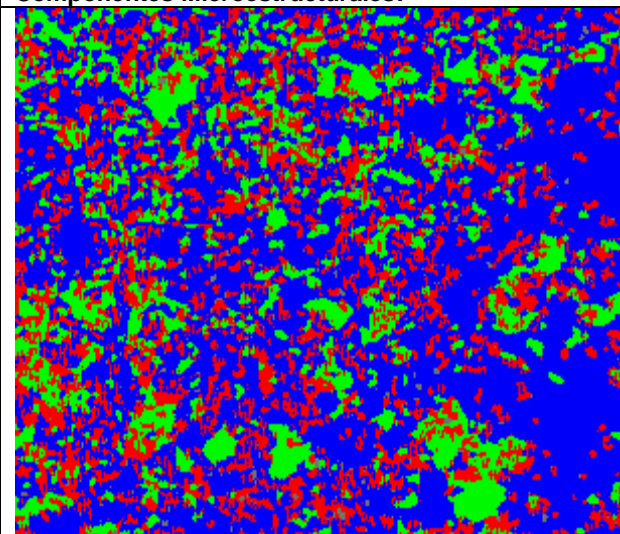
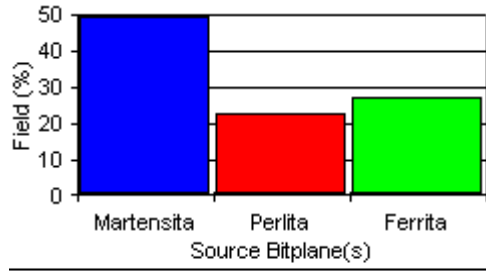
**Autor: Egda. Ximena Criollo**

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

ENSAYO METALOGRAFICO				REG: E.M. 003
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 03	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM		<b>Fecha:</b>	16/02/2011
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>			Laboratorio de Materiales – FICM	
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo		<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	21.5°C		<b>Radiación:</b>	14.23 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/s		<b>Otros:</b>	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>			Pulido Mecánico	
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C		<b>Superficie preparada en:</b>	30 min
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2		<b>Durante:</b>	5 seg
<b>RESULTADO:</b>				
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN UN MEDIO CONVENCIONAL COMO ES EL ACEITE SAE 10W30 (400_X)</b>				
				
<p><b>Acero AISI 1045, Templado en Aceite SAE 10W30, 400X, Nital 2, 5 seg.</b></p>				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA				REG: E.D. 003
DESCRIPCIÓN:				
<b>Método:</b>	Rockwell	<b>Tipo:</b>	C	
<b>Tipo de penetrador:</b>	Cono de diamante			
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	1471 Kgf	<b>Tiempo de ensayo:</b>	10 min	
RESULTADO:				
Centro de la probeta 39 HRC Periferia de la probeta 43 HRC				
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 56 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en un medio CONVENCIONAL como es el ACEITE SAE 10W30.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

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

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		REG: Ev.M. 003								
<b>Componentes:</b>	Martensita, Ferrita y Perlita									
<b>Componentes Microestructurales:</b>	<b>Porcentajes:</b>									
	 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Martensita</td> <td>49,3</td> </tr> <tr> <td>Perlita</td> <td>22,6</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>27,0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">MATRIZ: MARTENSÍTICA</p>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Martensita	49,3	Perlita	22,6	Ferrita	27,0
S. Bitplane(s)	Field (%)									
Martensita	49,3									
Perlita	22,6									
Ferrita	27,0									
<b>Cálculo de la Dureza utilizando la regla de fases:</b>										
$HB = \frac{(HB_{Ferrita})\%Ferrita + (HB_{Perlita})\%Perlita + (HB_{Martensita})\%Martensita^{[20]}}{100}$										

$$HB = \frac{(90)\%Ferrita + (300)\%Perlita + (640)\%Martensita}{100}$$

$$HB = \frac{(90)27 + (300)22.6 + (640)49.3}{100}$$

$$HB = 407.6 \text{ HB}$$

<sup>20</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 188-189

$HB = 407.6 \text{ HB} \approx 43.22 \text{ HRC}$  según tabla de conversión (Anexo A3)

#### **Interpretación de Resultados:**


La microestructura del acero AISI 1045 analizada realizando el Tratamiento Térmico Temple con enfriamiento en un medio convencional como es el ACEITE SAE 10W30, está constituida por Martensita en un porcentaje de 49.3%, por Ferrita en un 27% y Perlita en 22.6%. El porcentaje de Martensita obtenido es aceptable pues corresponde a una dureza de 43 HRC en la periferia de la probeta ensayada.

**Autor: Egda. Ximena Criollo**



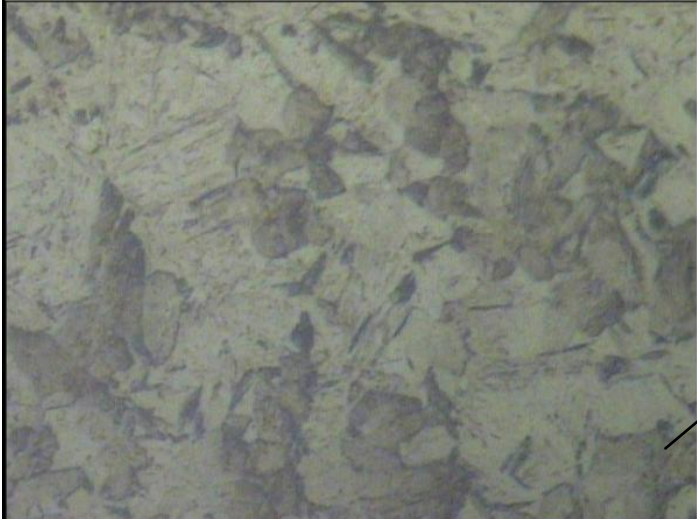
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 004
<b>ENSAYO 1</b>					
<b>PROBETA N°</b>	04	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	15/02/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	23°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	ACEITE DE MAÍZ	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	15°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	918 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	58.3 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	1/2"				
<b>Longitud:</b>	2"				
<b>Características:</b>	Eje				

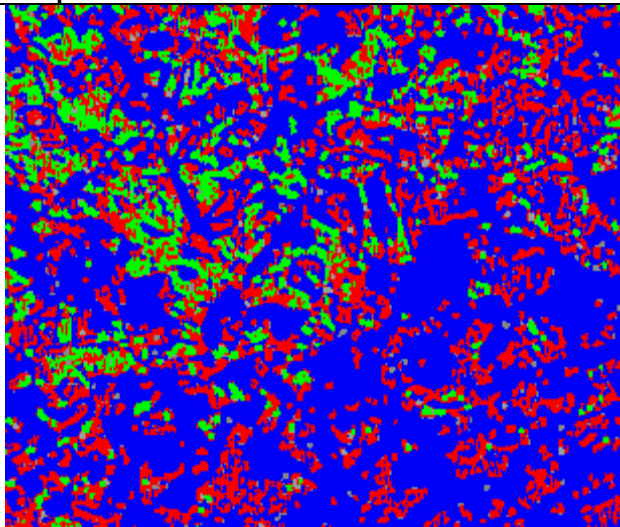
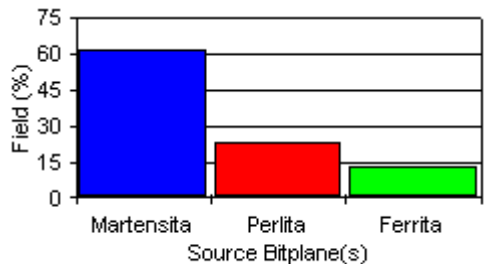
**Autor: Egda. Ximena Criollo**

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

ENSAYO METALOGRAFICO				REG: E.M. 004
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 04	
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	16/02/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20.5°C	<b>Radiación:</b>	15.23 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES EL ACEITE DE MAÍZ (400_X)</b>				
				
<p><b>Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Maíz, 400X, Nital 2, 5 seg.</b></p>				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA				REG: E.D. 004
DESCRIPCIÓN:				
<b>Método:</b>	Rockwell	<b>Tipo:</b>	C	
<b>Tipo de penetrador:</b>	Cono de diamante			
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	1471 Kgf	<b>Tiempo de ensayo:</b>	10 min	
RESULTADO:				
Centro de la probeta 40 HRC Periferia de la probeta 47 HRC				
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 56 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en UNA GRASA VEGETAL como es el ACEITE DE MAÍZ.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

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

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		REG: Ev.M. 004							
<b>Componentes:</b>	Martensita, Ferrita y Perlita								
<b>Componentes Microestructurales:</b>	<b>Porcentajes:</b>								
									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Martensita</td> <td>62,1</td> </tr> <tr> <td>Perlita</td> <td>23,2</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>12,9</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>MATRIZ: MARTENSÍTICA</b></p>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Martensita	62,1	Perlita	23,2	Ferrita
S. Bitplane(s)	Field (%)								
Martensita	62,1								
Perlita	23,2								
Ferrita	12,9								
<b>Cálculo de la Dureza utilizando la regla de fases:</b>									
$HB = \frac{(HB_{Ferrita})\%Ferrita + (HB_{Perlita})\%Perlita + (HB_{Martensita})\%Martensita^{[20]}}{100}$									



$$HB = \frac{(90)\%Ferrita + (300)\%Perlita + (640)\%Martensita}{100}$$

$$HB = \frac{(90)12.9 + (300)23.2 + (640)62.1}{100}$$

$$HB = 478.6 \text{ HB}$$

<sup>20</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 188-189

$HB = 478.6 \text{ HB} \approx 49.3 \text{ HRC}$  según tabla de conversión (Anexo A3)

#### **Interpretación de Resultados:**


La microestructura del acero AISI 1045 analizada realizando el Tratamiento Térmico Temple con enfriamiento en GRASAS VEGETALES como es el ACEITE DE MAÍZ, está constituida por Martensita en un porcentaje de 62.1%, por Ferrita en un 12.9% y Perlita en 23.2%. El porcentaje de Martensita obtenido es aceptable pues corresponde a una dureza de 47 HRC en la periferia de la probeta ensayada.

**Autor: Egda. Ximena Criollo**



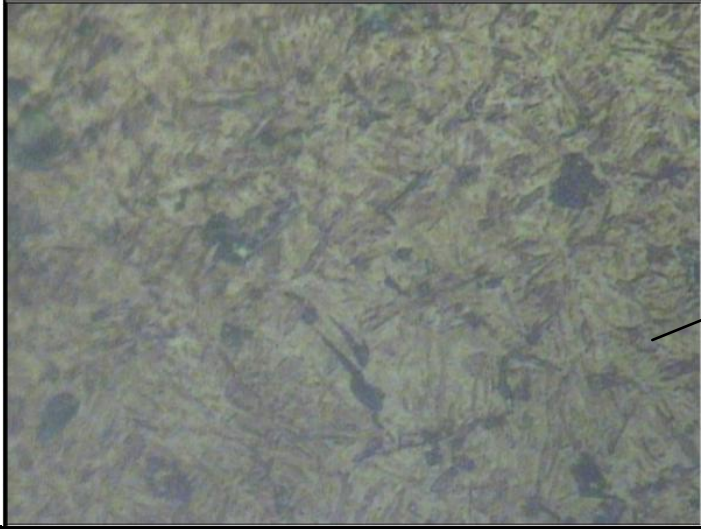
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 005
<b>ENSAYO 1</b>					
<b>PROBETA N°</b>	05	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	15/02/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>			22°C	<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	ACEITE DE OLIVA	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	17.5°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	912 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	83.9 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	1/2"				
<b>Longitud:</b>	2"				
<b>Características:</b>	Eje				

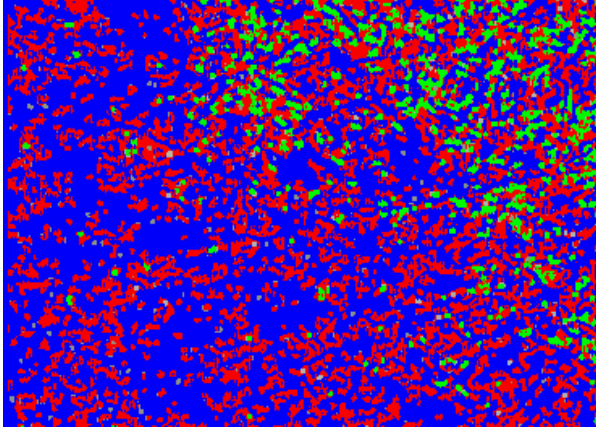
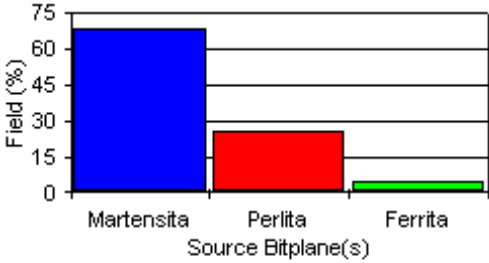
**Autor: Egda. Ximena Criollo**

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

ENSAYO METALGRÁFICO				REG: E.M. 005
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 05	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	17/02/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales – FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	23°C	<b>Radiación:</b>	15.6 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	24°C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES EL ACEITE DE OLIVA (400_X)</b>				
				
<p><b>Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Oliva, 400X, Nital 2, 5 seg.</b></p>				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA		REG: E.D. 005	
DESCRIPCIÓN:			
<b>Método:</b>	Rockwell	<b>Tipo:</b>	C
<b>Tipo de penetrador:</b>	Cono de diamante		
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	1471 Kgf	<b>Tiempo de ensayo:</b>	10 min
<b>RESULTADO:</b>			
Centro de la probeta 48 HRC Periferia de la probeta 51 HRC			
<b>Interpretación de Resultados:</b>			
La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 56 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en UNA GRASA VEGETAL como es el ACEITE DE OLIVA.			
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>			

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

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		REG: Ev.M. 005							
<b>Componentes:</b>	Martensita Ferrita y Perlita								
<b>Componentes Microestructurales:</b>	<b>Porcentajes:</b>								
									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Martensita</td> <td>68,8</td> </tr> <tr> <td>Perlita</td> <td>25,2</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>4,6</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>MATRIZ: MARTENSÍTICA</b></p>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Martensita	68,8	Perlita	25,2	Ferrita
S. Bitplane(s)	Field (%)								
Martensita	68,8								
Perlita	25,2								
Ferrita	4,6								
<b>Cálculo de la Dureza utilizando la regla de fases:</b>									
$HB = \frac{(HB_{Ferrita})\%Ferrita + (HB_{Perlita})\%Perlita + (HB_{Martensita})\%Martensita^{[20]}}{100}$									

$$HB = \frac{(90)\%Ferrita + (300)\%Perlita + (640)\%Martensita}{100}$$

$$HB = \frac{(90)4.6 + (300)25.2 + (640)68.8}{100}$$

$$HB = 520 \text{ HB}$$

<sup>20</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 188-189

$HB = 520 \text{ HB} \approx 52.33 \text{ HRC}$  según tabla de conversión (Anexo A3)

#### **Interpretación de Resultados:**


La microestructura del acero AISI 1045 analizada realizando el Tratamiento Térmico Temple con enfriamiento en GRASAS VEGETALES como es el ACEITE DE OLIVA, está constituida en la mayoría por Martensita en un porcentaje de 68.8%, por Ferrita en un 4.6% y Perlita en 25.2%. El porcentaje de Martensita obtenido es aceptable pues corresponde a una dureza de 51 HRC en la periferia de la probeta ensayada.

**Autor: Egda. Ximena Criollo**



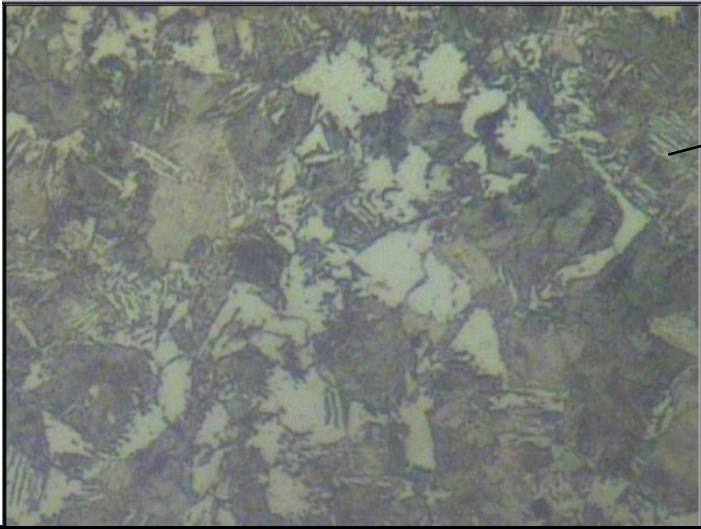
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 006
<b>ENSAYO 1</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	06	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	15/02/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	21.5°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	ACEITE DE GIRASOL	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	17.5°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	921 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	71.3 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	1/2"				
<b>Longitud:</b>	2"				
<b>Características:</b>	Eje				

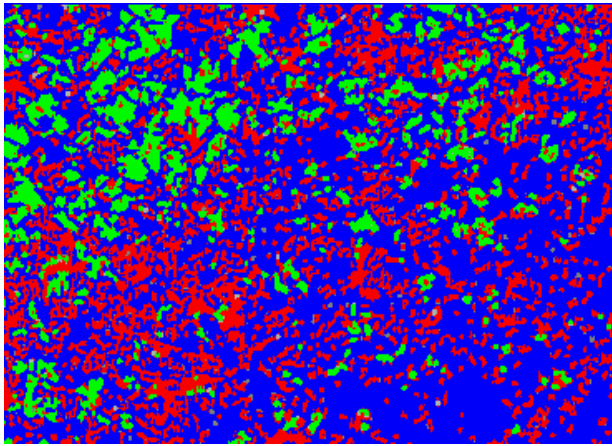
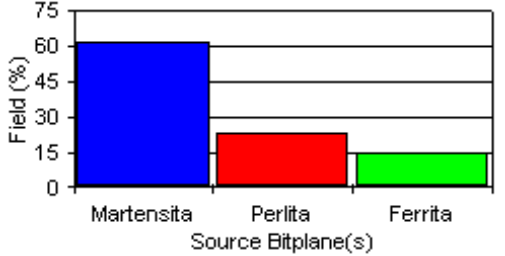
**Autor: Egda. Ximena Criollo**

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

ENSAYO METALGRÁFICO			REG: E.M. 006
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Probeta N° 06	
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	17/02/2011
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales – FICM	
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	21.5°C	<b>Radiación:</b>	15.32 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico	
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	24°C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg
<b>RESULTADO:</b>			
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES EL ACEITE DE GIRASOL (400_X)</b>			
			
<b>Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Girasol, 400X, Nital 2, 5 seg.</b>			
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>			

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA				REG: E.D. 006
DESCRIPCIÓN:				
<b>Método:</b>	Rockwell	<b>Tipo:</b>	C	
<b>Tipo de penetrador:</b>	Cono de diamante			
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	1471 Kgf	<b>Tiempo de ensayo:</b>	10 min	
<b>RESULTADO:</b>				
Centro de la probeta 45 HRC Periferia de la probeta 46 HRC				
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 56 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en UNA GRASA VEGETAL como es el ACEITE DE GIRASOL.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

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

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		REG: Ev.M. 006							
<b>Componentes:</b>	Martensita Ferrita y Perlita								
<b>Componentes Microestructurales:</b>	<b>Porcentajes:</b>								
									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Martensita</td> <td>61,4</td> </tr> <tr> <td>Perlita</td> <td>22,9</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>14,6</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">MATRIZ: MARTENSÍTICA</p>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Martensita	61,4	Perlita	22,9	Ferrita
S. Bitplane(s)	Field (%)								
Martensita	61,4								
Perlita	22,9								
Ferrita	14,6								
<b>Cálculo de la Dureza utilizando la regla de fases:</b>									
$HB = \frac{(HB_{Ferrita})\%Ferrita + (HB_{Perlita})\%Perlita + (HB_{Martensita})\%Martensita^{[20]}}{100}$									



$$HB = \frac{(90)\%Ferrita + (300)\%Perlita + (640)\%Martensita}{100}$$

$$HB = \frac{(90)14.6 + (300)22.9 + (640)61.4}{100}$$

$$HB = 474.8 \text{ HB}$$

<sup>20</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 188-189

$HB = 474.8 \text{ HB} \approx 48.98 \text{ HRC}$  según tabla de conversión (Anexo A3)

#### **Interpretación de Resultados:**


La microestructura del acero AISI 1045 analizada realizando el Tratamiento Térmico Temple con enfriamiento en GRASAS VEGETALES como es el ACEITE DE GIRASOL, está constituida en la mayoría por Martensita en un porcentaje de 61.4%, por Ferrita en un 14.6% y Perlita en 22.9%. El porcentaje de Martensita obtenido es aceptable pues corresponde a una dureza de 46 HRC en la periferia de la probeta ensayada.

**Autor: Egda. Ximena Criollo**




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

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 007
<b>ENSAYO 1</b>					
<b>PROBETA N°</b>	07	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	15/02/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	22°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	MANTECA VEGETAL	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	17°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	920 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	82.4 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	1/2"				
<b>Longitud:</b>	2"				
<b>Características:</b>	Eje				

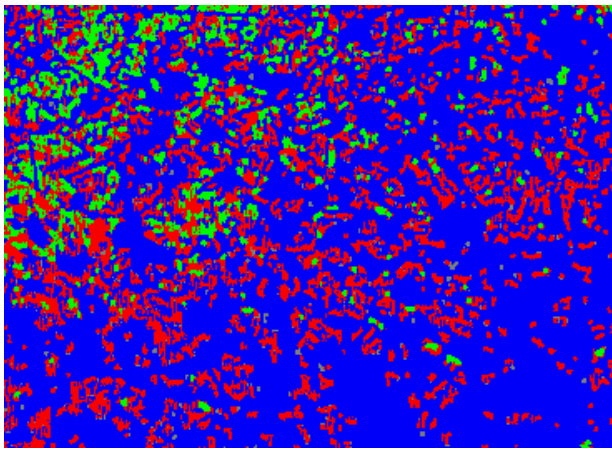
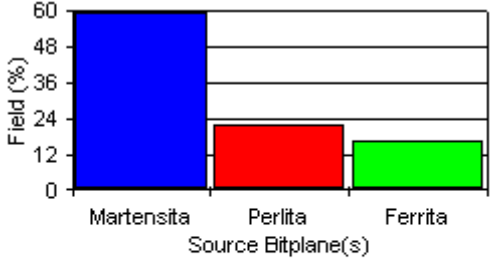
**Autor: Egda. Ximena Criollo**

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

ENSAYO METALOGRAFICO			REG: E.M. 007
<b>Datos Informativos:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Probeta N° 07	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	18/02/2011
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales – FICM	
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	23°C	<b>Radiación:</b>	15.63 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico	
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	24°C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg
<b>RESULTADO:</b>			
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES LA MANTECA VEGETAL (400_X)</b>			
			
<p><b>Acero AISI 1045, Templado en Manteca Vegetal, 400X, Nital 2, 5 seg.</b></p>			
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>			

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA				REG: E.D. 007
DESCRIPCIÓN:				
<b>Método:</b>	Rockwell	<b>Tipo:</b>	C	
<b>Tipo de penetrador:</b>	Cono de diamante			
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	1471 Kgf	<b>Tiempo de ensayo:</b>	10 min	
<b>RESULTADO:</b>				
Centro de la probeta 45 HRC Periferia de la probeta 47 HRC				
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 56 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en UNA GRASA VEGETAL como es MANTECA VEGETAL.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

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

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		REG: Ev.M. 007							
<b>Componentes:</b>	Martensita Ferrita y Perlita								
<b>Componentes Microestructurales:</b>	<b>Porcentajes:</b>								
									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Martensita</td> <td>59,5</td> </tr> <tr> <td>Perlita</td> <td>22,2</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>16,4</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Martensita	59,5	Perlita	22,2	Ferrita
S. Bitplane(s)	Field (%)								
Martensita	59,5								
Perlita	22,2								
Ferrita	16,4								
<b>MATRIZ: MARTENSÍTICA</b>									
<b>Cálculo de la Dureza utilizando la regla de fases:</b>									
$HB = \frac{(HB_{Ferrita})\%Ferrita + (HB_{Perlita})\%Perlita + (HB_{Martensita})\%Martensita^{[20]}}{100}$									

$$HB = \frac{(90)\%Ferrita + (300)\%Perlita + (640)\%Martensita}{100}$$

$$HB = \frac{(90)16.4 + (300)22.2 + (640)59.5}{100}$$

$$HB = 462.2 \text{ HB}$$

<sup>20</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 188-189

$HB = 462.2 \text{ HB} \approx 48 \text{ HRC}$  según tabla de conversión (Anexo A3)

#### **Interpretación de Resultados:**


La microestructura del acero AISI 1045 analizada realizando el Tratamiento Térmico Temple con enfriamiento en GRASAS VEGETALES como es la MANTECA VEGETAL, está constituida por Martensita en un porcentaje de 59.5%, por Ferrita en un 16.4% y Perlita en 22.2%. El porcentaje de Martensita obtenido es aceptable pues corresponde a una dureza de 47 HRC en la periferia de la probeta ensayada.

**Autor: Egda. Ximena Criollo**



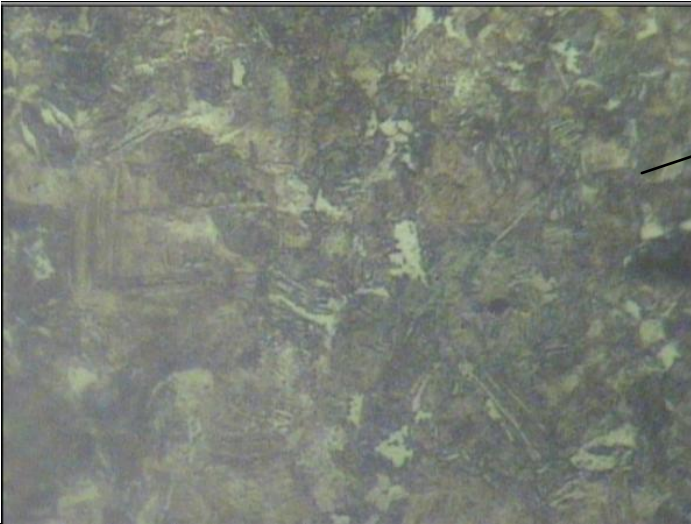
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 008
<b>ENSAYO 1</b>					
<b>PROBETA N°</b>	08	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	15/02/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	22°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	ACEITE DE PALMA	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	17°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	896 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	61.9 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	1/2"				
<b>Longitud:</b>	2"				
<b>Características:</b>	Eje				

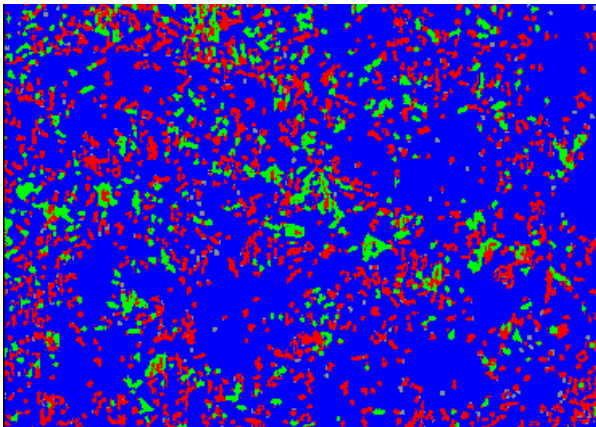
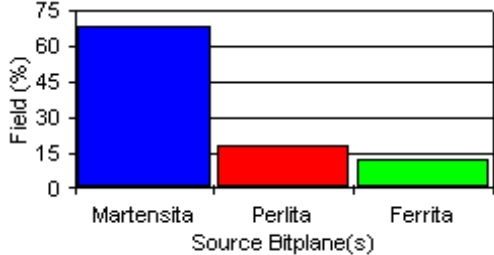
**Autor: Egda. Ximena Criollo**

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

ENSAYO METALGRÁFICO				REG: E.M. 008
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 08	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	18/02/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales – FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	23°C	<b>Radiación:</b>	10.25 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.1 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	24°C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES EL ACEITE DE PALMA (400_X)</b>				
				
<p><b>Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Palma, 400X, Nital 2, 5 seg.</b></p>				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA				REG: E.D. 008
DESCRIPCIÓN:				
<b>Método:</b>	Rockwell	<b>Tipo:</b>	C	
<b>Tipo de penetrador:</b>	Cono de diamante			
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	1471 Kgf	<b>Tiempo de ensayo:</b>	10 min	
<b>RESULTADO:</b>				
Centro de la probeta 48 HRC Periferia de la probeta 50 HRC				
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
La dureza alcanzada es aceptable pues está dentro del rango que es de hasta 56 HRC según el catálogo Bohler una vez que se ha realizado el temple y enfriándolo en UNA GRASA VEGETAL como es el ACEITE DE PALMA.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

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

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		REG: Ev.M. 008							
<b>Componentes:</b>	Martensita Ferrita y Perlita								
<b>Componentes Microestructurales:</b>	<b>Porcentajes:</b>								
									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Martensita</td> <td>68,6</td> </tr> <tr> <td>Perlita</td> <td>18,1</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>12,2</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Martensita	68,6	Perlita	18,1	Ferrita
S. Bitplane(s)	Field (%)								
Martensita	68,6								
Perlita	18,1								
Ferrita	12,2								
<b>MATRIZ: MARTENSÍTICA</b>									
<b>Cálculo de la Dureza utilizando la regla de fases:</b>									
[20]									
$HB = \frac{(HB_{Ferrita})\%Ferrita + (HB_{Perlita})\%Perlita + (HB_{Martensita})\%Martensita}{100}$									



$$HB = \frac{(90)\%Ferrita + (300)\%Perlita + (640)\%Martensita}{100}$$

$$HB = \frac{(90)12.2 + (300)18.1 + (640)68.6}{100}$$

$$HB = 504.3 \text{ HB}$$

<sup>20</sup> SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 188-189

$HB = 504.3 \text{ HB} \approx 51.3 \text{ HRC}$  según tabla de conversión (Anexo A3)

#### **Interpretación de Resultados:**

La microestructura del acero AISI 1045 analizada realizando el Tratamiento Térmico Temple con enfriamiento en GRASAS VEGETALES como es el ACEITE DE PALMA, está constituida en la mayoría por Martensita en un porcentaje de 82.7%, por Ferrita en un 4.2% y Perlita en 12.5%. El porcentaje de Martensita obtenido es aceptable pues corresponde a una dureza de 50 HRC en la periferia de la probeta ensayada.


**Autor: Egda. Ximena Criollo**

### 4.2.3 EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS DE ACERO AISI 1045 TEMPLADAS.



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

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 009
<b>ENSAYO 2</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	09	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	01/04/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	22.2°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL ACERO UTILIZADO				
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 
<b>Diámetro:</b>	3/4"	<b>Resistencia a la tracción:</b>	580-750 N/mm <sup>2</sup>	
<b>Longitud:</b>	5"	<b>Dureza:</b>	180 HB	
<b>Características:</b>	Eje	<b>Tratamiento Térmico:</b>	Recocido	
<b>OBSERVACIÓN:</b>				
Propiedades tomadas de la tabla de aceros BOHLER Acero AISI 1045 como viene de Fábrica en estado de recocido. (Anexo A4)				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

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

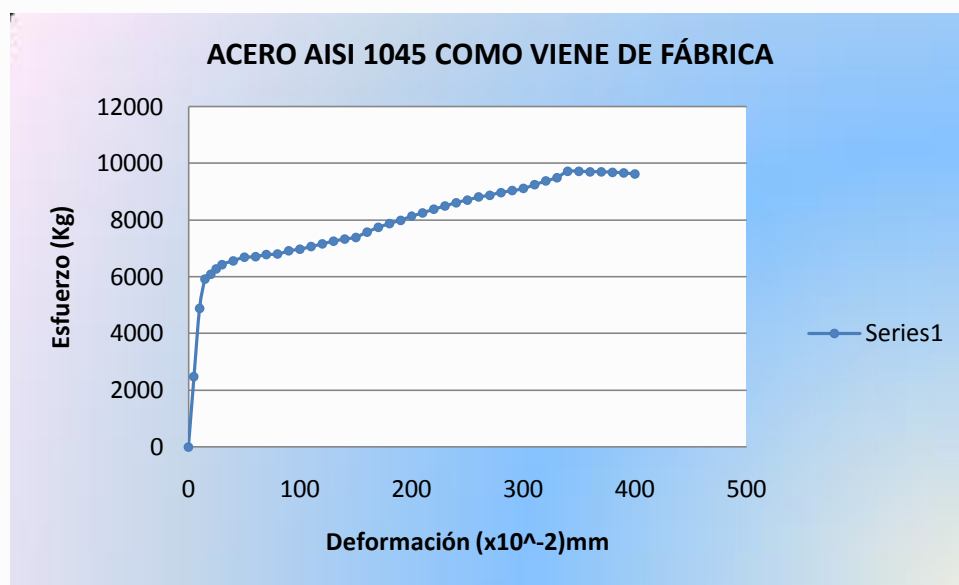
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN	REG: E.T. 001
-----------------------------------	---------------

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04

<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
<b>Instrumento:</b>		Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton	
<b>Fecha de ejecución:</b>	03/05/2011	<b>Supervisado por:</b>	Ayudante de Ensayo de Materiales
<b>Método:</b>		Deformación controlada	
<b>Carga Máxima:</b>	9721 Kg	<b>Carga de Ruptura:</b>	9628 Kg

**RESULTADO:**

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[21]}$$

$$\varepsilon = \frac{139.51 - 126.84}{126.84} * 100$$

$$\varepsilon = 9.98\%$$

<sup>21</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 131)

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[22]}$$

$$\%reducción = \frac{126.7 - 80.12}{126.7} * 100$$

$$\%reducción = 36.7\%$$

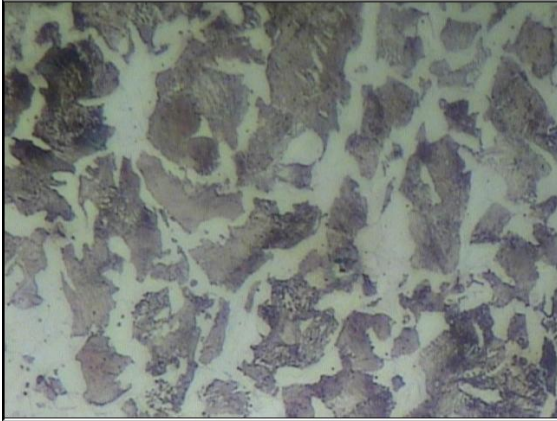
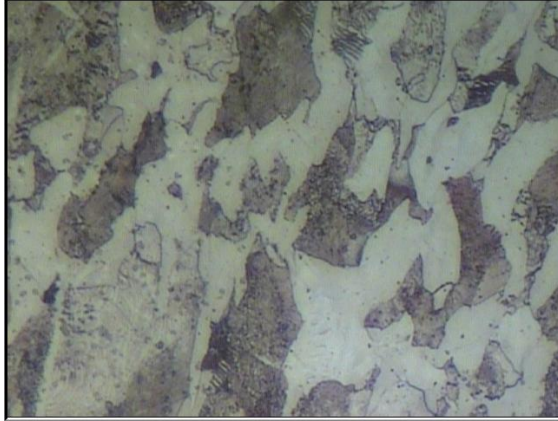
<sup>22</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 137)

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción:**

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} = S_{ut} = 76.72 \text{ Kg/mm}^2 \text{ [23]}$$

<sup>23</sup> SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)


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

ENSAYO METALOGRAFICO				REG: E.M. 009
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 09	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	14/05/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales – FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	23°C	<b>Radiación:</b>	12.75 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.11 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C	<b>Superficie preparada en:</b>	75 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUES DE REALIZADO EL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>				
<b>ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL</b>		<b>ENCUELLAMIENTO CORTE LONGITUDINAL</b>		
				
<b>Acero AISI 1045, Ensayado a Tracción, Corte Transversal, 400X, Nital 2, 5 seg</b>		<b>Acero AISI 1045, Ensayado a Tracción, Corte Longitudinal, 400X, Nital 2, 5 seg</b>		
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
<p>En las fotografías se observa el alargamiento del grano en el corte longitudinal y una disminución del tamaño de grano en el corte transversal, pues es la microestructura formada en la parte del encuellamiento de la probeta después de realizado el ensayo de tracción.</p>				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				



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

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 010
<b>ENSAYO 2</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	10	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	01/04/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>			22°C	<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático

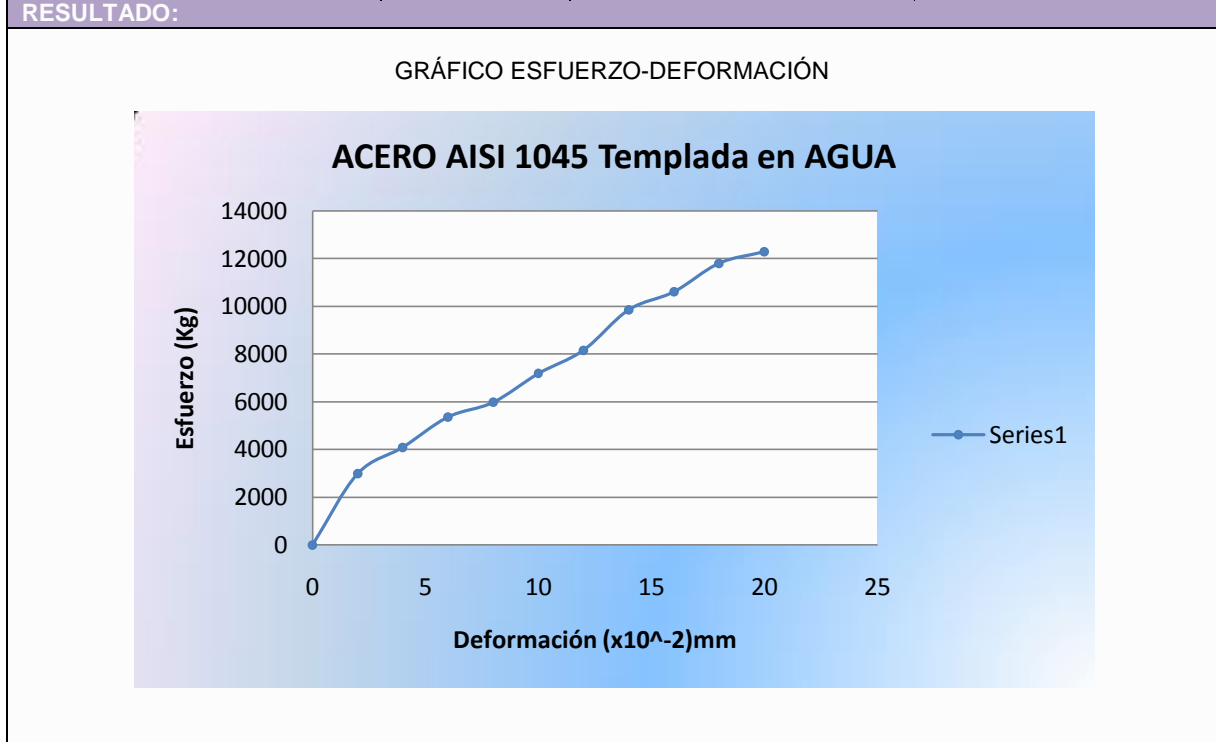
ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Convencional	<b>Medio:</b>	AGUA	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	15.8°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad H2O:</b>	998 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	1.02 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	3/4"				
<b>Longitud:</b>	5"				
<b>Características:</b>	Eje				

Autor: Egda. Ximena Criollo

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

<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>	REG: E.T. 002
------------------------------------------	---------------

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04			
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>	Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM		
<b>Instrumento:</b>	Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2011	<b>Supervisado por:</b>	Ayudante de Ensayo de Materiales
<b>Método:</b>	Deformación controlada		
<b>Carga Máxima:</b>	12300 Kg	<b>Carga de Ruptura:</b>	12300 Kg



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[21]}$$

$$\varepsilon = \frac{127 - 126,83}{126,83} * 100$$

$$\varepsilon = 0,13\%$$

<sup>21</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 131)

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[22]}$$

$$\%reducción = \frac{126,67 - 126,27}{126,67} * 100$$

$$\%reducción = 0,32\%$$

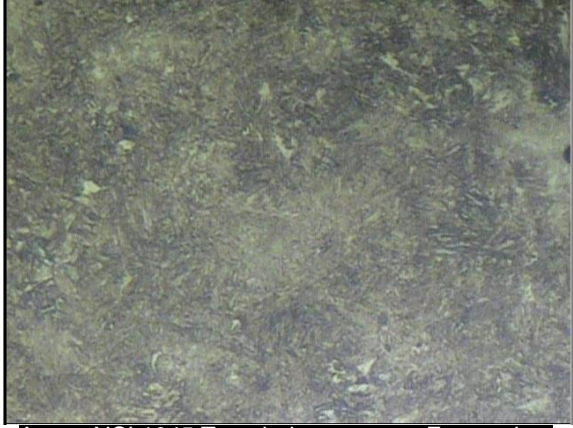
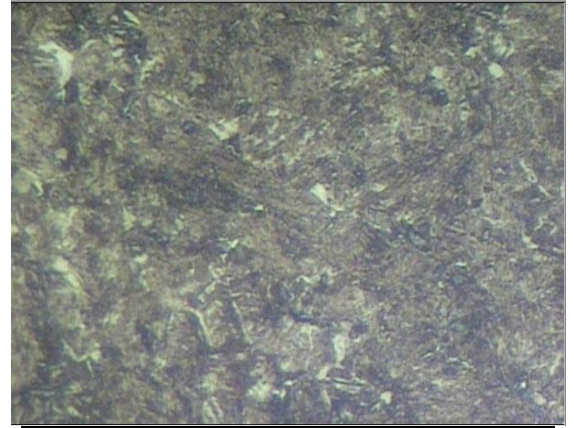
<sup>22</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 137)

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción:**

$$Sut = \frac{P_{max}}{A_o} = Sut = 97,1 Kg/mm^2^{[23]}$$

<sup>23</sup> SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)


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

ENSAYO METALGRÁFICO				REG: E.M. 010
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 10	
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM		<b>Fecha:</b>	14/05/2011
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>			Laboratorio de Materiales – FICM	
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo		<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	21.8°C		<b>Radiación:</b>	12.95 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.12 m/s		<b>Otros:</b>	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>			Pulido Mecánico	
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C		<b>Superficie preparada en:</b>	75 min
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2		<b>Durante:</b>	5 seg
<b>RESULTADO:</b>				
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN UN MEDIO CONVENCIONAL COMO ES EL AGUA (400_X) DESPUES DE REALIZADO EL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>				
<b>ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL</b>			<b>ENCUELLAMIENTO CORTE LONGITUDINAL</b>	
				
<p><b>Acero AISI 1045, Templado en agua y Ensayado a Tracción, Corte Transversal, 400X, Nital 2, 5 seg</b></p>			<p><b>Acero AISI 1045, Templado en agua y Ensayado a Tracción, Corte Longitudinal, 400X, Nital 2, 5 seg</b></p>	
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
<p>En las fotografías se observa el alargamiento del grano en el corte longitudinal y una disminución del tamaño de grano en el corte transversal, pues las es la microestructura formada en la parte del encuellamiento de la probeta después de realizado el ensayo de tracción.</p>				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				



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

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 011
<b>ENSAYO 2</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	11	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	01/04/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	22°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Convencional	<b>Medio:</b>	ACEITE SAE 10W30	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	17.3°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	880 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	72.2 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	3/4"				
<b>Longitud:</b>	5"				
<b>Características:</b>	Eje				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>					



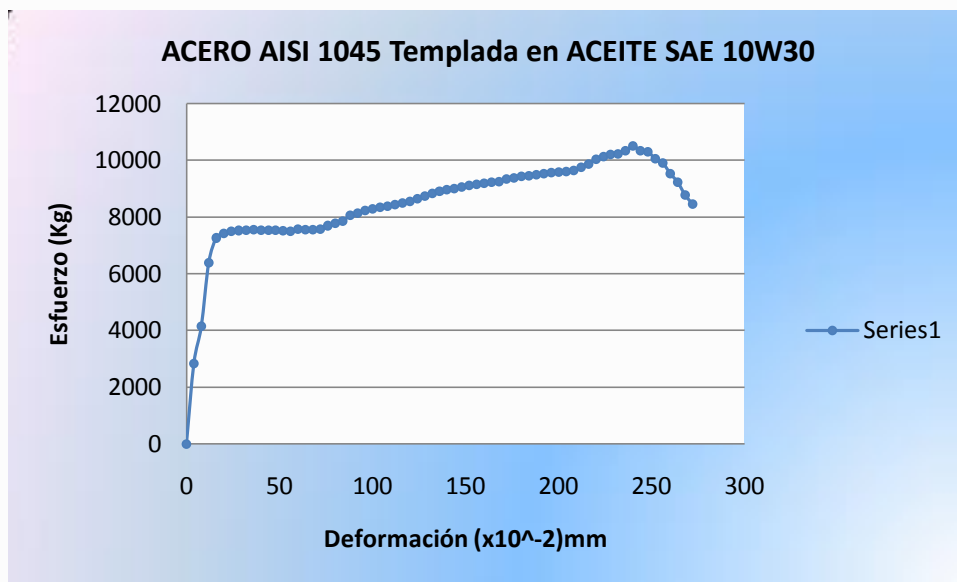
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN	REG: E.T. 003
-----------------------------------	---------------

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04			
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	05/05/2011	Supervisado por:	Ayudante de Ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	10503 Kg	Carga de Ruptura:	8458 Kg

**RESULTADO:**

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[21]}$$

$$\varepsilon = \frac{139 - 127}{127} * 100$$

$$\varepsilon = 9.45\%$$

<sup>21</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 131)

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[22]}$$

$$\%reducción = \frac{126.67 - 69.1}{126.67} * 100$$

$$\%reducción = 44.45\%$$

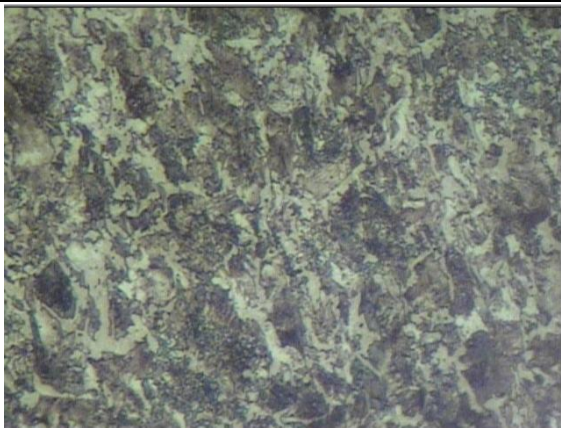
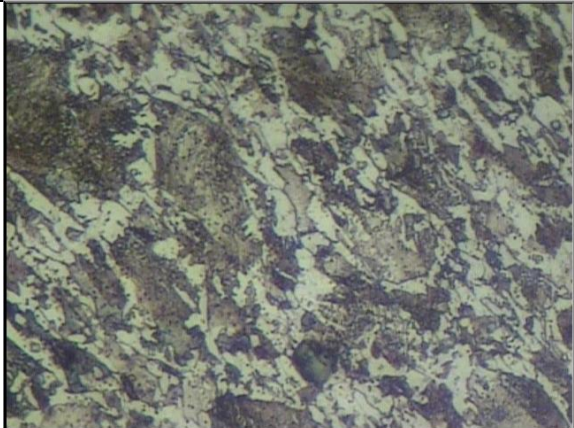
<sup>22</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 137)

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción:**

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} = S_{ut} = 82.92 \text{ Kg/mm}^2^{[23]}$$

<sup>23</sup> SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)

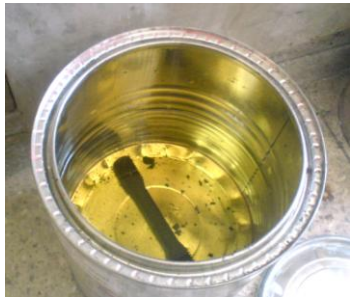
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

ENSAYO METALOGRAFICO				REG: E.M. 011
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 11	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	14/05/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales – FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	23.2°C	<b>Radiación:</b>	12.8 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.11 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C	<b>Superficie preparada en:</b>	75 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN UN MEDIO CONVENCIONAL COMO ES EL ACEITE SAE 10W30 (400_X) DESPUES DE REALIZADO EL ENSAYO DE TRACCIÓN				
ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL		ENCUELLAMIENTO CORTE LONGITUDINAL		
				
<p style="font-size: small;">Acero AISI 1045, Templado en Aceite SAE 10W30 y Ensayado a Tracción, Corte Transversal, 400X, Nital2, 5 seg</p>		<p style="font-size: small;">Acero AISI 1045, Templado en Aceite SAE 10W30 y Ensayado a Tracción, Corte Longitudinal, 400X, Nital2, 5 seg</p>		
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
<p>En las fotografías se observa el alargamiento del grano en el corte longitudinal y una disminución del tamaño de grano en el corte transversal, pues es la microestructura formada en la parte del encuellamiento de la probeta después de realizado el ensayo de tracción.</p>				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				



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

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS				REG: D.I. 012	
<b>ENSAYO 2</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	12	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	01/04/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	22°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	ACEITE DE MAÍZ	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	15.1°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	918 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	58.3 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	3/4"				
<b>Longitud:</b>	5"				
<b>Características:</b>	Eje				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>					

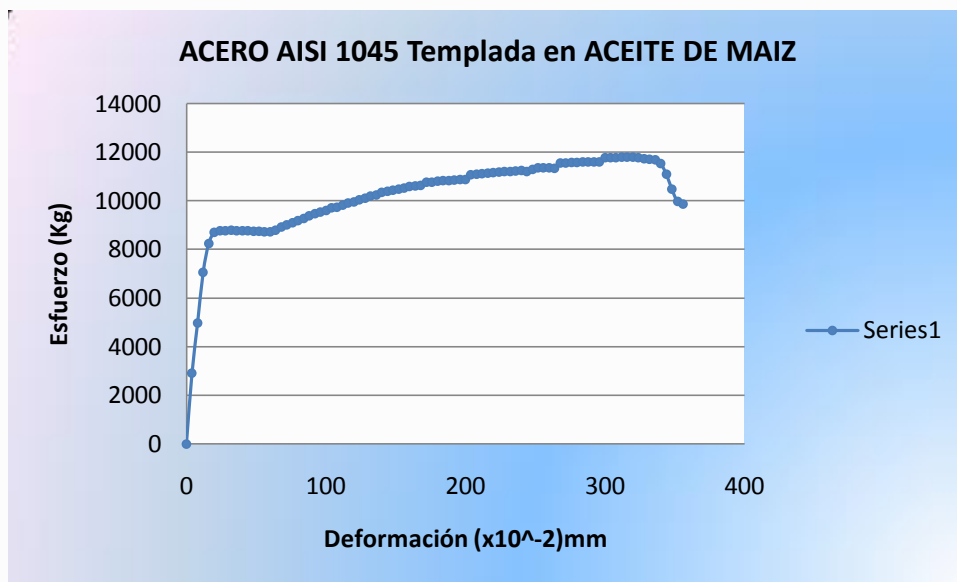
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN	REG: E.T. 004
-----------------------------------	---------------

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04			
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	06/05/2011	Supervisado por:	Ayudante de Ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	11795 Kg	Carga de Ruptura:	9873 Kg

**RESULTADO:**

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[21]}$$

$$\varepsilon = \frac{137,89 - 126}{126} * 100$$

$$\varepsilon = 9,44\%$$

<sup>21</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 131)

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[22]}$$

$$\%reducción = \frac{126,67 - 71,18}{126,67} * 100$$

$$\%reducción = 43,8\%$$

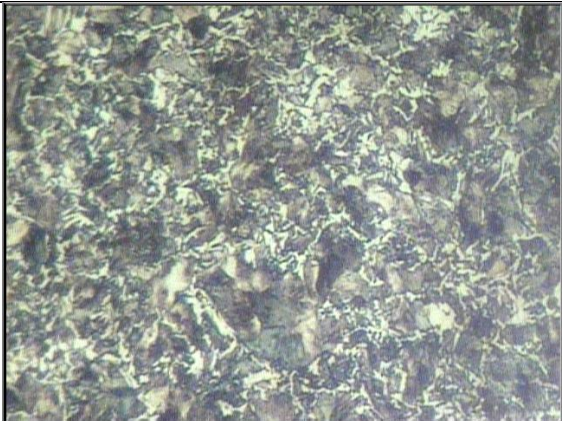
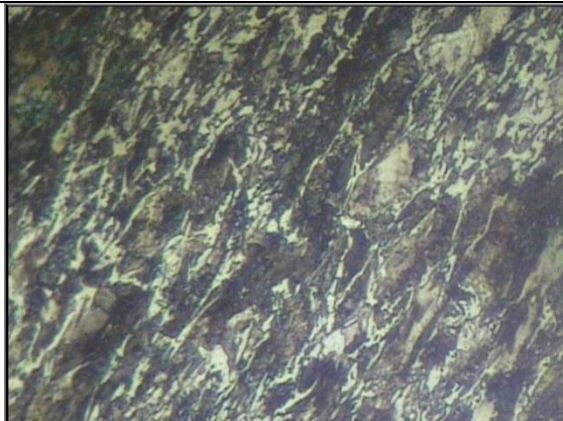
<sup>22</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 137)

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción:**

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} = S_{ut} = 93,12 \text{ Kg/mm}^2^{[23]}$$

<sup>23</sup> SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)


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

ENSAYO METALOGRAFICO				REG: E.M. 012
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 12	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	14/05/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales – FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	22.6°C	<b>Radiación:</b>	12.57 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.11 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C	<b>Superficie preparada en:</b>	75 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES EL ACEITE DE MAÍZ (400_X) DESPUES DE REALIZADO EL ENSAYO DE TRACCIÓN				
ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL		ENCUELLAMIENTO CORTE LONGITUDINAL		
				
Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Maíz y Ensayado a Tracción, Corte Transversal, 400X, Nital2, 5 seg		Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Maíz y Ensayado a Tracción, Corte Longitudinal, 400X, Nital2, 5 seg		
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
En las fotografías se observa el alargamiento del grano en el corte longitudinal y una disminución del tamaño de grano en el corte transversal, pues es la microestructura formada en la parte del encuellamiento de la probeta después de realizado el ensayo de tracción.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				



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

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS				REG: D.I. 013	
<b>ENSAYO 2</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	13	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	01/04/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	22.7°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

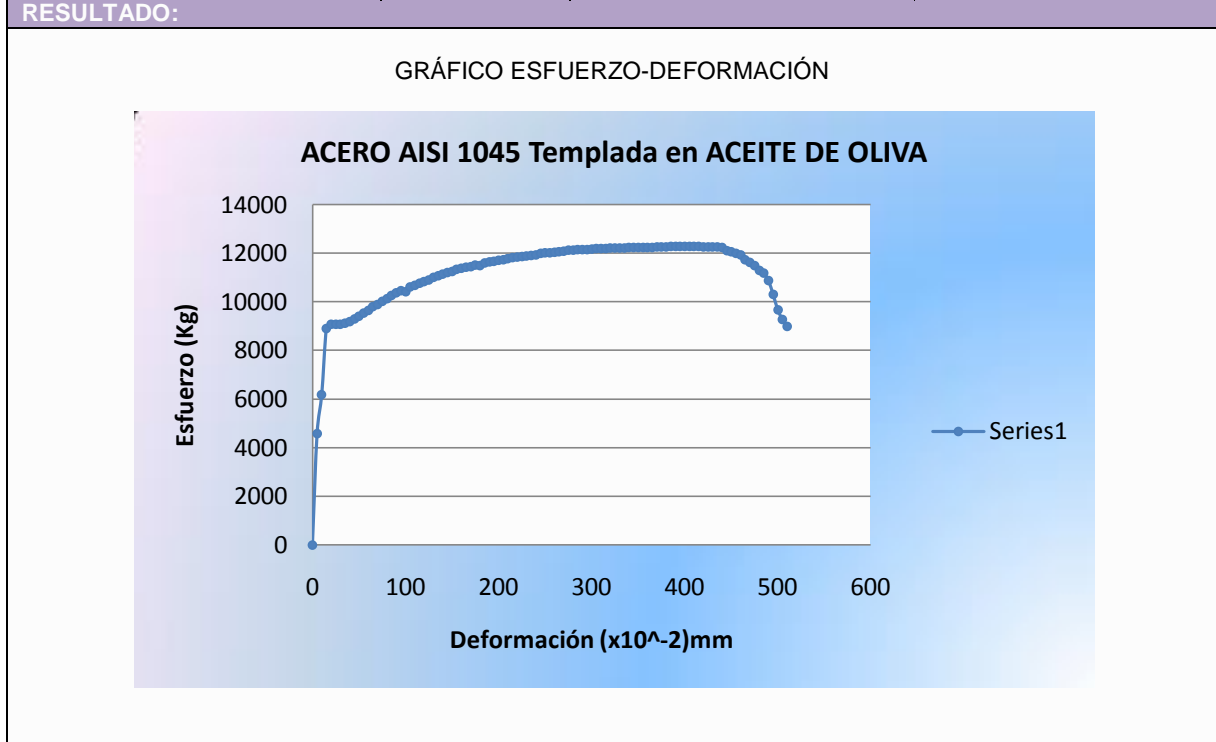
ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	ACEITE DE OLIVA	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	17.4°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	912 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	83.9 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	3/4"				
<b>Longitud:</b>	5"				
<b>Características:</b>	Eje				

Autor: Egda. Ximena Criollo

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

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN	REG: E.T. 005
-----------------------------------	---------------

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04			
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	10/05/2011	Supervisado por:	Ayudante de Ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	12283 Kg	Carga de Ruptura:	8987 Kg



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[21]}$$

$$\epsilon = \frac{137.46 - 127}{127} * 100$$

$$\epsilon = 8.27\%$$

<sup>21</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 131)

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[22]}$$

$$\%reducción = \frac{126.67 - 66.48}{126.67} * 100$$

$$\%reducción = 47.51\%$$

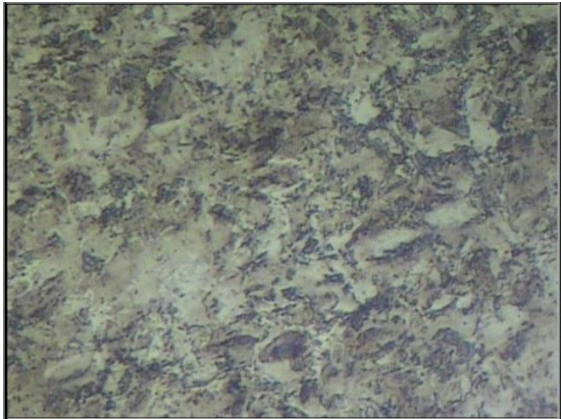
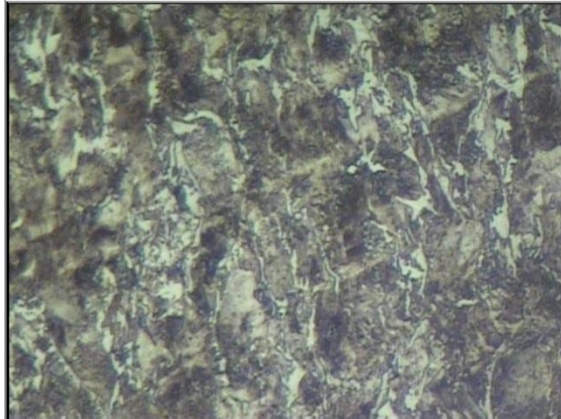
<sup>22</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 137)

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción:**

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} = S_{ut} = 96.96 \text{ Kg/mm}^2^{[23]}$$

<sup>23</sup> SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)

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


ENSAYO METALGRÁFICO				REG: E.M. 013
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 13	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM		<b>Fecha:</b>	14/05/2011
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>			Laboratorio de Materiales – FICM	
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo		<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	22.7°C		<b>Radiación:</b>	13.51 W/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.11 m/s		<b>Otros:</b>	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>			Pulido Mecánico	
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C		<b>Superficie preparada en:</b>	75 min
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2		<b>Durante:</b>	5 seg
<b>RESULTADO:</b>				
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES EL ACEITE DE OLIVA (400_X) DESPUES DE REALIZADO EL ENSAYO DE TRACCIÓN				
ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL			ENCUELLAMIENTO CORTE LONGITUDINAL	
				
Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Oliva y Ensayado a Tracción, Corte Transversal, 400X, Nital2, 5 seg			Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Oliva y Ensayado a Tracción, Corte Longitudinal, 400X, Nital2, 5 seg	
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
En las fotografías se observa el alargamiento del grano en el corte longitudinal y una disminución del tamaño de grano en el corte transversal, pues es la microestructura formada en la parte del encuellamiento de la probeta después de realizado el ensayo de tracción.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				





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

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 014
<b>ENSAYO 2</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	14	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	01/04/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>			23.4°C	<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático

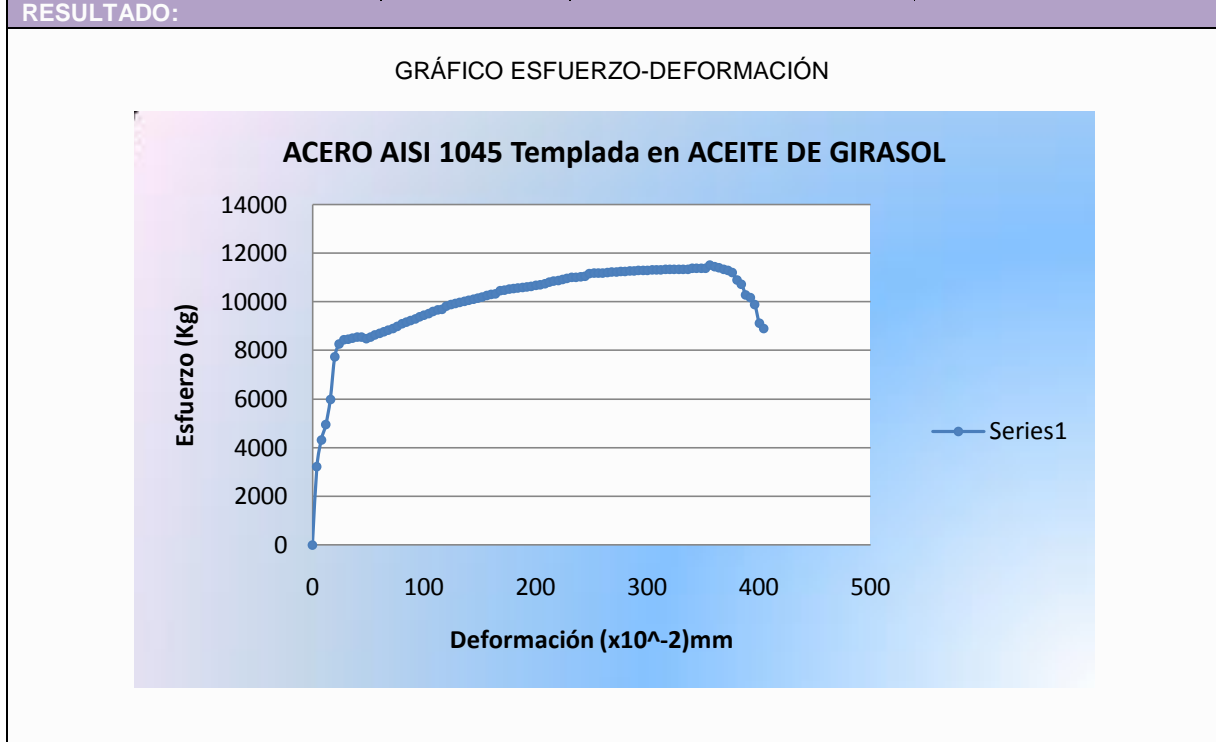
ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	ACEITE DE GIRASOL	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	17.3°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	921 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	71.3 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	3/4"				
<b>Longitud:</b>	5"				
<b>Características:</b>	Eje				

Autor: Egda. Ximena Criollo

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

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN	REG: E.T. 006
-----------------------------------	---------------

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04			
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	09/05/2011	Supervisado por:	Ayudante de Ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	11524 Kg	Carga de Ruptura:	8901 Kg



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[21]}$$

$$\varepsilon = \frac{137.3 - 127}{127} * 100$$

$$\varepsilon = 8.11\%$$

<sup>21</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 131)

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[22]}$$

$$\%reducción = \frac{126.67 - 67.93}{126.67} * 100$$

$$\%reducción = 46.37\%$$

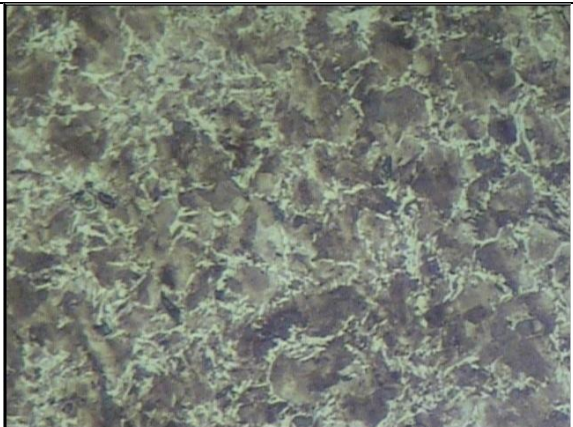
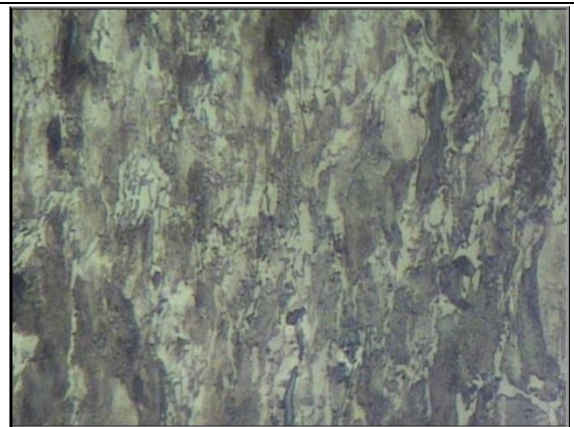
<sup>22</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 137)

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción:**

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} = S_{ut} = 90.98 \text{ Kg/mm}^2^{[23]}$$

<sup>23</sup> SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)


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

ENSAYO METALGRÁFICO				REG: E.M. 014
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 14	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM		<b>Fecha:</b>	14/05/2011
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>			Laboratorio de Materiales – FICM	
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo		<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	23.1°C	<b>Radiación:</b>	13.78 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.11 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C	<b>Superficie preparada en:</b>	75 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES EL ACEITE DE GIRASOL (400_X) DESPUES DE REALIZADO EL ENSAYO DE TRACCIÓN				
<b>ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL</b>			<b>ENCUELLAMIENTO CORTE LONGITUDINAL</b>	
				
Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Girasol y Ensayado a Tracción, Corte Transversal, 400X, Nital2, 5 seg			Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Girasol y Ensayado a Tracción, Corte Longitudinal, 400X, Nital2, 5 seg	
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
En las fotografías se observa el alargamiento del grano en el corte longitudinal y una disminución del tamaño de grano en el corte transversal, pues es la microestructura formada en la parte del encuellamiento de la probeta después de realizado el ensayo de tracción.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				



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

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 015
<b>ENSAYO 2</b>					
<b>PROBETA N°</b>	15	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	01/04/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>			23.4°C	<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	MANTECA VEGETAL	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	17°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	920 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	82.4 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	3/4"				
<b>Longitud:</b>	5"				
<b>Características:</b>	Eje				

**Autor: Egda. Ximena Criollo**

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

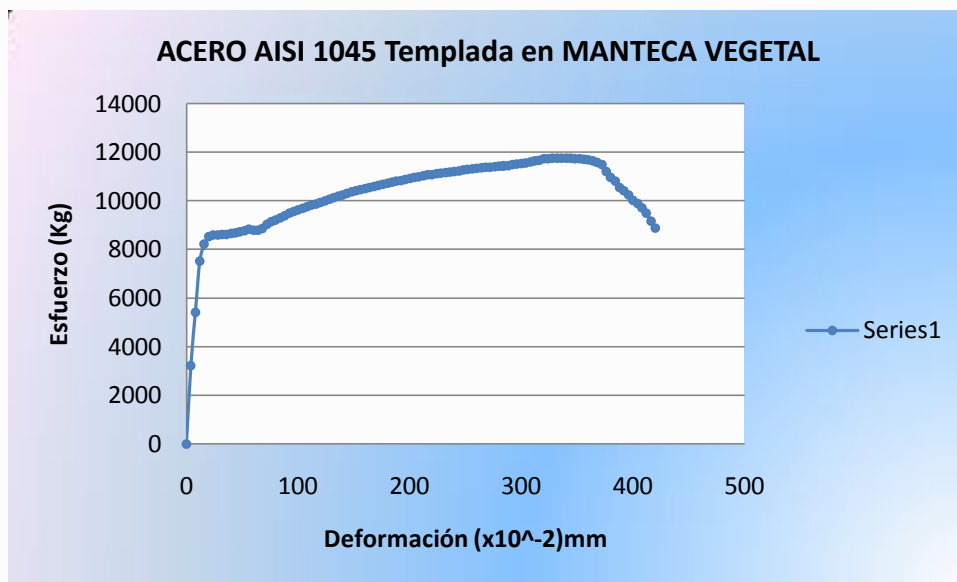
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN	REG: E.T. 007
-----------------------------------	---------------

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04

<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
<b>Instrumento:</b>		Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton	
<b>Fecha de ejecución:</b>	11/05/2011	<b>Supervisado por:</b>	Ayudante de Ensayo de Materiales
<b>Método:</b>		Deformación controlada	
<b>Carga Máxima:</b>	11760 Kg	<b>Carga de Ruptura:</b>	8890 Kg

**RESULTADO:**

GRÁFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[21]}$$

$$\varepsilon = \frac{137.7 - 127}{127} * 100$$

$$\varepsilon = 8.43\%$$

<sup>21</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 131)

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[22]}$$

$$\%reducción = \frac{126.67 - 69.1}{126.67} * 100$$

$$\%reducción = 44.45\%$$

<sup>22</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 137)

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción:**

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} = S_{ut} = 92.84 \text{ Kg/mm}^2^{[23]}$$

<sup>23</sup> SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)


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

ENSAYO METALOGRAFICO				REG: E.M. 015
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 15	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	14/05/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales – FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	23.3°C	<b>Radiación:</b>	14.1 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.11 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	22°C	<b>Superficie preparada en:</b>	75 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES LA MANTECA VEGETAL (400_X) DESPUES DE REALIZADO EL ENSAYO DE TRACCIÓN				
<b>ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL</b>			<b>ENCUELLAMIENTO CORTE LONGITUDINAL</b>	
				
Acero AISI 1045, Templado en Manteca Vegetal y Ensayado a Tracción, Corte Transversal, 400X, Nital2, 5 seg			Acero AISI 1045, Templado en Manteca Vegetal y Ensayado a Tracción, Corte Longitudinal, 400X, Nital2, 5 seg	
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
En las fotografías se observa el alargamiento del grano en el corte longitudinal y una disminución del tamaño de grano en el corte transversal, pues es la microestructura formada en la parte del encuellamiento de la probeta después de realizado el ensayo de tracción.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				



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

REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					REG: D.I. 016
<b>ENSAYO 2</b>					
<b>PROBETA Nº</b>	16	<b>Autorizado por:</b>	Ing. H. Vaca	<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de Materiales-FICM		<b>Fecha de ejecución:</b>	01/04/2011	
<b>Temperatura ambiente del lugar:</b>	22°C		<b>Flujo de aire del medio:</b>	Estático	

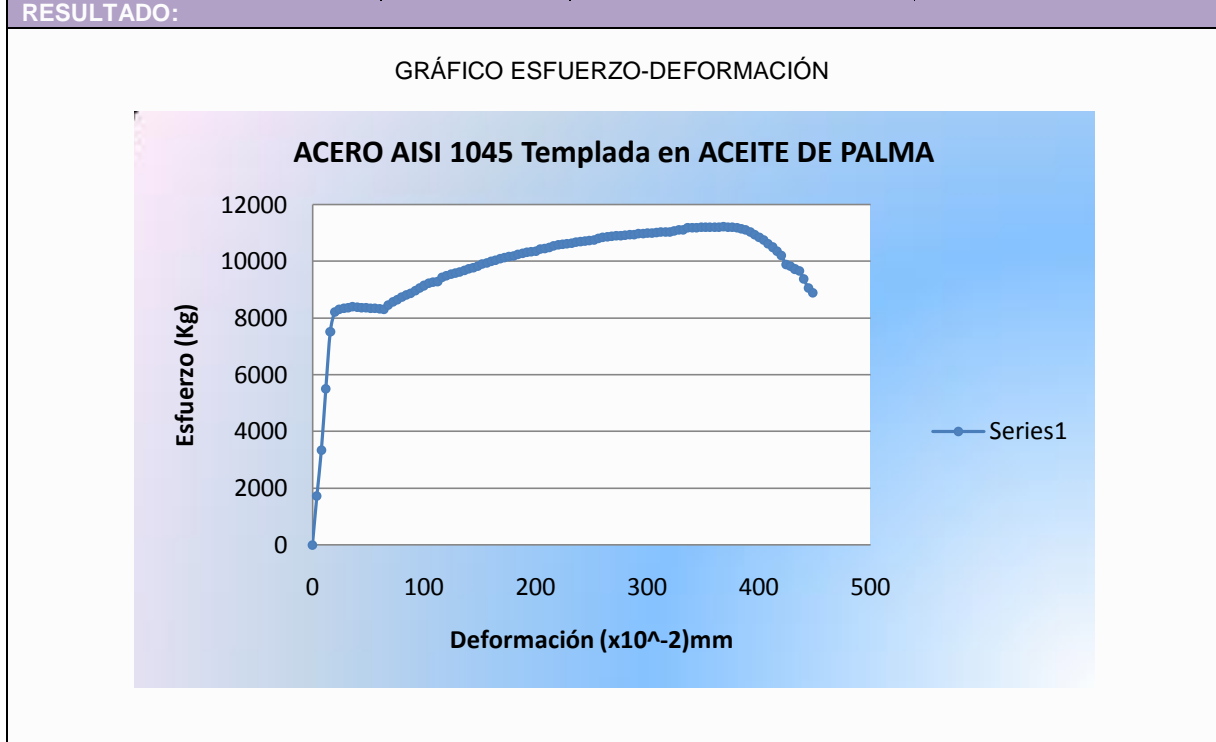
ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
<b>Tratamiento Térmico:</b>	Temple	<b>Tipo:</b>	Integral	<b>Temperatura del temple:</b>	840°C
<b>Medio de enfriamiento:</b>	Grasas Vegetales	<b>Medio:</b>	ACEITE DE PALMA	<b>Temperatura del medio de enfriamiento:</b>	16.9°C
<b>Tiempo de permanencia medio enf:</b>	Hasta el enfriamiento	<b>Densidad:</b>	896 kg/m <sup>3</sup>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b> 	
<b>Especificación Material</b>	Acero	<b>Viscosidad:</b>	61.9 mPa.s		
<b>Tipo o grado:</b>	AISI 1045	<b>Volumen del medio:</b>	2 lt.		
<b>Diámetro:</b>	3/4"				
<b>Longitud:</b>	5"				
<b>Características:</b>	Eje				

**Autor: Egda. Ximena Criollo**

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

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN	REG: E.T. 008
-----------------------------------	---------------

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04			
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	17/05/2011	Supervisado por:	Ayudante de Ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	11227 Kg	Carga de Ruptura:	8902 Kg



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100^{[21]}$$

$$\epsilon = \frac{137.1 - 127}{127} * 100$$

$$\epsilon = 7.95\%$$

<sup>21</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 131)

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100^{[22]}$$

$$\%reducción = \frac{126.67 - 66.47}{126.67} * 100$$

$$\%reducción = 47.5\%$$

<sup>22</sup> ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 137)

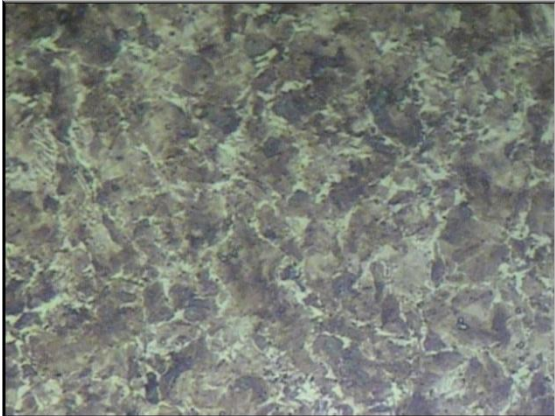
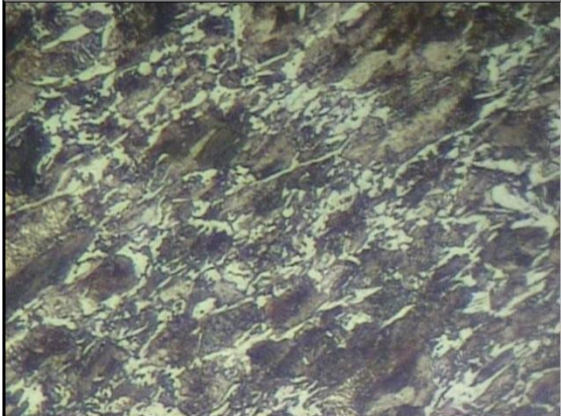
**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción:**

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} = S_{ut} = 88.63 \text{ Kg/mm}^2^{[23]}$$

<sup>23</sup> SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)

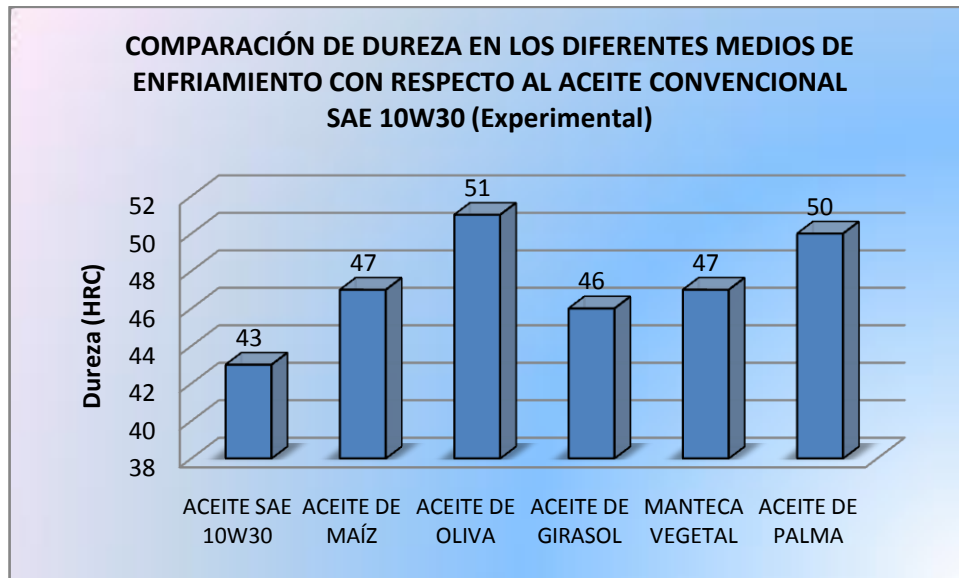


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

ENSAYO METALGRÁFICO				REG: E.M. 016
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 16	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	14/05/2011	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Materiales – FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egda. Ximena Criollo	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Henry Vaca	
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>				
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA			
<b>Temperatura Ambiente:</b>	23.5°C	<b>Radiación:</b>	25.37 W/m <sup>2</sup>	
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	0.12 m/s	<b>Otros:</b>		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>				
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	24°C	<b>Superficie preparada en:</b>	75 min	
<b>Ataque Químico de la superficie con:</b>	Nital 2	<b>Durante:</b>	5 seg	
<b>RESULTADO:</b>				
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO AISI 1045 ENFRIADO EN GRASAS VEGETALES COMO ES EL ACEITE DE PALMA (400_X) DESPUES DE REALIZADO EL ENSAYO DE TRACCIÓN				
ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL		ENCUELLAMIENTO CORTE LONGITUDINAL		
				
Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Palma y Ensayado a Tracción, Corte Transversal, 400X, Nital2, 5 seg		Acero AISI 1045, Templado en Aceite de Palma y Ensayado a Tracción, Corte Longitudinal, 400X, Nital2, 5 seg		
<b>Interpretación de Resultados:</b>				
En las fotografías se observa el alargamiento del grano en el corte longitudinal y una disminución del tamaño de grano en el corte transversal, pues es la microestructura formada en la parte del encuellamiento de la probeta después de realizado el ensayo de tracción.				
<b>Autor: Egda. Ximena Criollo</b>				

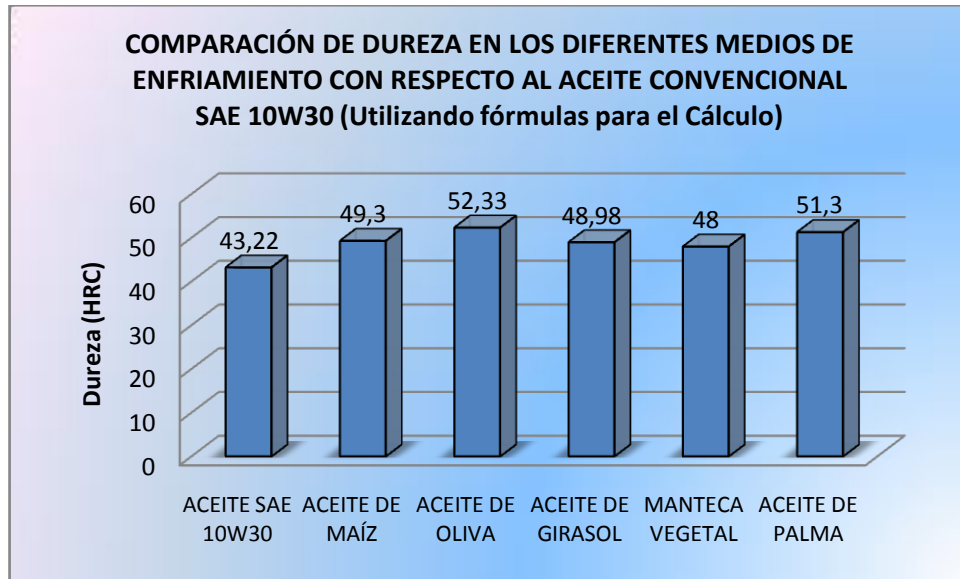
### 4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la interpretación de los resultados se va a tomar como medios de comparación, los medios de enfriamiento utilizados convencionalmente, como son el Aceite SAE 10W30, y el Agua.



**GRÁFICO 10** Comparación de Dureza en los diferentes Medios de Enfriamiento con respecto al Aceite Convencional SAE 10W30 (Experimental) **FUENTE:** Autor

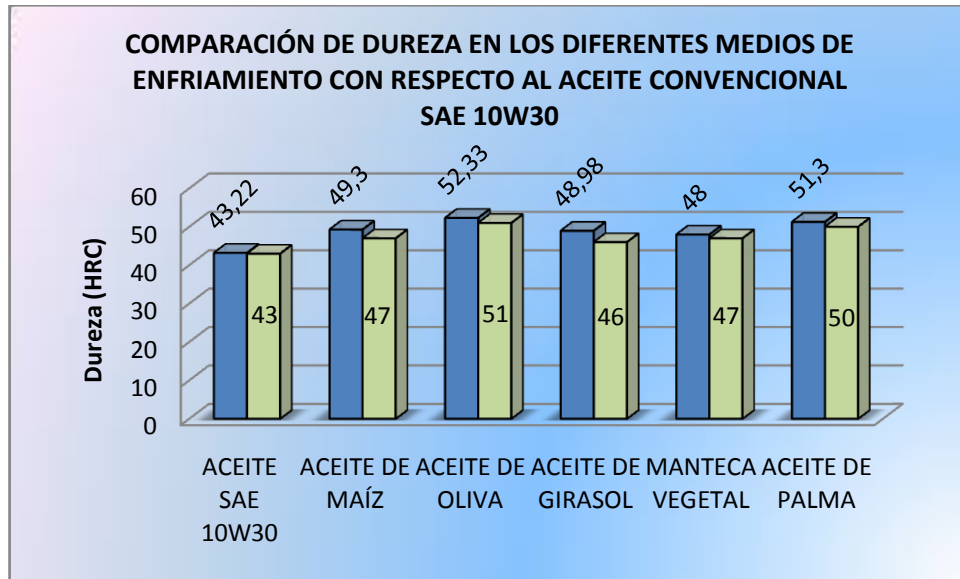
En el gráfico 10 se observa que el valor más alto de dureza en el Acero AISI 1045 después de realizadas las pruebas experimentales, se obtiene en un medio de enfriamiento que es el ACEITE DE OLIVA el cual es una GRASA VEGETAL con un valor de 51 HRC, que en comparación con un medio utilizado convencionalmente, en este caso el Aceite SAE 10W30 la dureza es menor con un valor de 43 HRC, motivo por el cual la utilización de las Grasas Vegetales es aceptable para la Investigación realizada.



**GRÁFICO 11** Comparación de Dureza en los Diferentes Medios de Enfriamiento con respecto al Aceite Convencional SAE 10W30 (Utilizando fórmulas para el Cálculo)

**FUENTE:** Autor

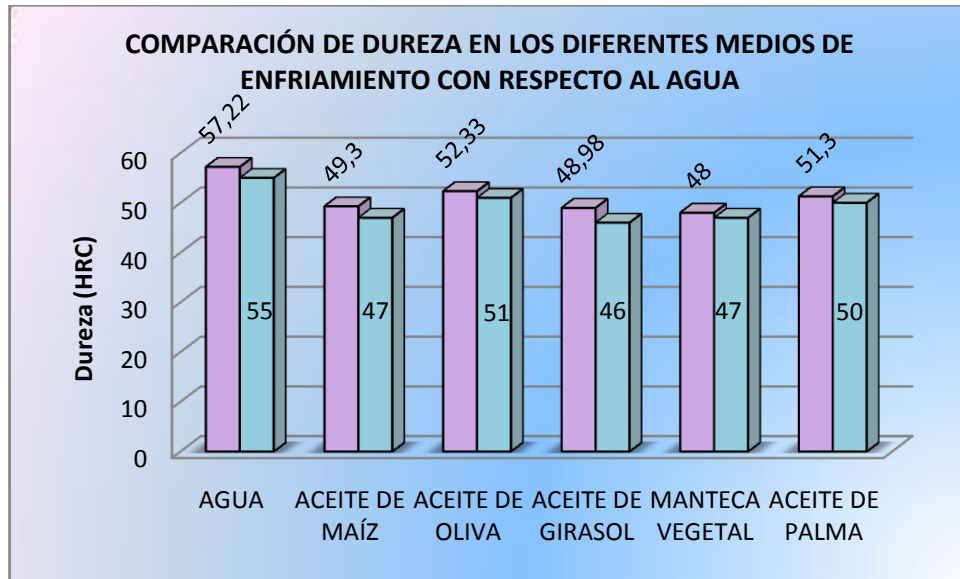
En el gráfico 11 se compara la dureza del Acero AISI 1045 utilizando fórmulas para llegar a estos valores los cuales tienen una pequeña variación en cuanto al ensayo experimental realizado el valor más alto es en el ACEITE DE OLIVA con un valor de 52.33 HRC.



**GRÁFICO 12** Comparación de Dureza en los Diferentes Medios de Enfriamiento.

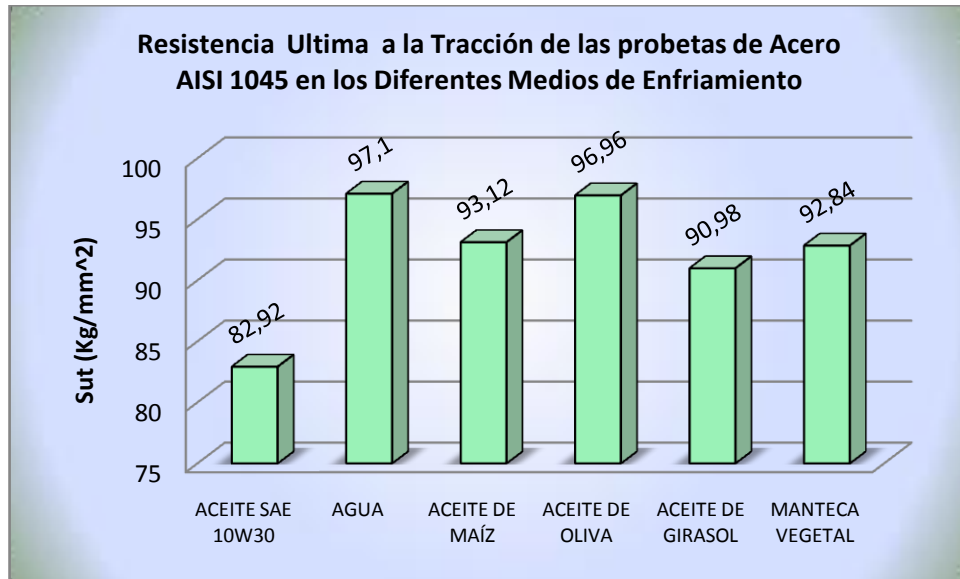
**FUENTE:** Autor

En el gráfico 12 se compara la dureza del Acero AISI1045 del ensayo experimental frente al gráfico de la dureza obtenida con fórmulas, se observa una variación pero es pequeña en comparación a los valores obtenidos en el ensayo experimental, siendo la dureza más alta la obtenida en un medio de enfriamiento que es el ACEITE DE OLIVA.



**GRÁFICO 13** Comparación de Dureza en los Diferentes Medios de Enfriamiento con respecto al Agua. **FUENTE:** Autor

En el gráfico 13 se compara la dureza del Acero AISI 1045 del ensayo experimental frente al gráfico de la dureza obtenida con fórmulas, en este gráfico se hace la comparación con el Agua medio que es utilizado comúnmente para realizar el temple, se observa que la dureza obtenida es la mayor con respecto a todas las grasas Vegetales utilizadas, pues éste medio tiene la mayor velocidad de enfriamiento, la dureza alcanzada es de 55 HRC seguido de este valor se encuentra el Aceite de Oliva con un valor de 51 HRC.



**GRÁFICO 14** Resistencia Última a la Tracción de las probetas de Acero AISI 1045 en los Diferentes Medios de Enfriamiento. **FUENTE:** Autor

En el gráfico 14 se compara la resistencia última a la tracción del Acero AISI 1045 del ensayo experimental el valor más alto es en el Aceite de Oliva después del Agua con un valor de 96.96 Kg/mm<sup>2</sup>, estos valores son más altos que el valor del Sut del material como viene de fábrica pues la Resistencia a la Tracción crece a medida que crece la dureza.

#### 4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Luego de haber realizado los ensayos experimentales utilizando grasas vegetales como medios de enfriamiento para templar el acero AISI 1045 se puede determinar que la utilización de las mismas satisface las propiedades analizadas con respecto a un medio utilizado convencionalmente que es el aceite SAE 10W30 aumentando considerablemente la dureza que es el objetivo primordial del Temple y

con presencia de martensita, microestructura característica de este tratamiento térmico cumpliendo con lo expuesto en la hipótesis.

Por otra parte si se compara con el AGUA que es un medio utilizado con frecuencia se puede ver que no hay otro medio que pueda superar la dureza alcanzada, con Agua se logra la mayor velocidad de enfriamiento motivo por el cual existe casi en su totalidad presencia de Martensita, pero se tiene un material totalmente frágil.

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Mediante el análisis e interpretación de los datos recolectados, fundamentalmente de las pruebas realizadas, así como también la revisión de la fundamentación teórica, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se determinó los parámetros fundamentales para realizar el tratamiento térmico propuesto que es el Temple del Acero.
- El temple se debe realizar a una temperatura de 840°C según el porcentaje de carbono que tiene el acero y según recomendaciones de catálogos (Bohler).
- Se utilizó medios de enfriamiento que son las Grasas Vegetales las cuales han dado buenos resultados en cuanto a dureza, pues este es el objetivo principal del Temple en el acero.
- Se determinó el porcentaje de Martensita presente en las probetas después de haber dado el tratamiento térmico.
- El medio de enfriamiento que permite obtener los mejores resultados en cuanto a estructura metalográfica y dureza es el Aceite de Oliva el cual es una Grasa Vegetal.
- El valor más alto de la dureza alcanzada después de haber templado el acero en varios medios de enfriamiento que son las grasas vegetales, es en el Aceite de Oliva, valor que se compara con el obtenido realizando el temple en agua.



- El ensayo de dureza realizado tiene relación con los cálculos obtenidos para determinar la dureza a través de fórmulas existiendo una pequeña variación.
- Se observa que la Resistencia Última a la tracción aumenta a medida que aumenta la dureza pues tienen una relación directamente proporcional.
- El valor de la Resistencia última a la tracción más alta se puede observar en el Aceite de Oliva, después del agua.
- Mediante el ensayo de tracción se observa que en la parte del encuellamiento existe una disminución del tamaño de grano en el corte transversal y un alargamiento en el corte longitudinal.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Con la culminación de las pruebas realizadas en el presente proyecto se ha considerado establecer las siguientes recomendaciones:

- Antes de realizar el tratamiento se debe verificar el estado de los equipos que se vaya a utilizar, pues el funcionamiento erróneo de éstos pueden abortar resultados poco confiables.
- 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.
- Se debe tomar en cuenta los factores con los cuales se va a realizar el Temple asegurándose que se cumpla lo especificado.
- Verificar la temperatura a la cual se va a realizar el tratamiento térmico según el porcentaje del contenido de carbono con el diagrama Hierro-Carbono.

- El tiempo de permanencia de las probetas en el horno a partir de llegada a la temperatura de Austenización en este caso 840°C, debe ser de 1 hora por cada pulgada de espesor o diámetro.
- No dejar las probetas en el horno más tiempo del especificado pues estas pueden sufrir cambios en la estructura metalográfica y sus propiedades mecánicas, por lo tanto no serán veraces los resultados que éstas arrojen.
- La superficie de las probetas deben estar completamente planas para realizar los ensayos posteriores los cuales son microestructura y dureza.
- Para la observación de la estructura metalográfica las probetas deben estar perfectamente pulidas y atacadas con el reactivo adecuado (Nital 2).
- Después de observar la estructura metalográfica de cada probeta se procede a realizar el ensayo de dureza, ya que la superficie queda acondicionada para este ensayo.
- Se procede a comparar con la dureza encontrada en catálogos, en este caso en el catálogo de Aceros Bohler (Anexo A4).
- Al momento de realizar el ensayo en el durómetro se debe tomar las mediciones de dureza lo mas exactas posible pues al momento de comparar con los catálogos, puede existir variaciones, características en un ensayo experimental.
- Para realizar el ensayo de tracción las probetas deben tener las medidas especificadas en la norma ASTM E8-04.
- Se debe calibrar la probeta antes de realizar el ensayo en la máquina universal, para aplicar el deformímetro en las marcas calibradas.
- Luego de realizado el ensayo de tracción se debe realizar los ensayos posteriores para determinar las propiedades de interés.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

Los datos básicos que permiten realizar el tratamiento térmico como es el Temple en el Acero AISI 1045, son los que se enuncian a continuación:

La temperatura a la cual se debe realizar el tratamiento térmico es de 840°C según el porcentaje de carbono que tiene el acero que es de 0.45% y verificando con el diagrama hierro-carbono (Anexo A1).

El estudio se desarrolla en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, pues en este laboratorio se encuentran los equipos necesarios para realizar el tratamiento térmico y verificar las propiedades de interés.

Con el desarrollo del presente estudio se obtiene una base informativa para reforzar los conocimientos de las personas que se desempeñen en el Área de Materiales.

En cuanto a costos, es un proyecto que se puede ejecutarlo, pues el costo no es elevado en comparación con los medios comúnmente utilizados para Templar el Acero y presenta propiedades como dureza y resistencia a la tracción muy apreciables, y se puede aplicar en elementos que requieran dichas características.

## **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Mediante investigaciones realizadas con anterioridad acerca del Temple en el Acero, se puede observar que existen datos de éste tratamiento térmico realizado en medios convencionales como son el agua y el aceite, dando buenos resultados de dureza y estructura metalográfica como es la martensita característica del Temple, pero se propone realizarlo en otros medios alternativos como es el Aceite de Oliva, que es una Grasa Vegetal la cual ha permitido obtener resultados apreciables, en comparación a los medios comúnmente utilizados.

En el presente trabajo de investigación se realiza el Temple en el Acero AISI 1045, pues es un acero de fácil adquisición contiene, un porcentaje de carbono de 0.45 % el cual ayuda en el momento de realizar el tratamiento térmico.

## **6.3 JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto de investigación se lo desarrolla con la finalidad de implementar información acerca de medios alternativos para realizar el temple, por tanto es un tratamiento que permite mejorar la vida útil del acero, creando un criterio propio sobre la forma de trabajar y la importancia que tienen los tratamientos térmicos hoy en día en la industria.

Es de gran importancia implementar un medio alternativo al momento de realizar el Temple a un acero, pues comúnmente se utiliza agua, medio en el cual se aumenta notablemente la dureza pero el material se vuelve demasiado frágil, con una grasa vegetal como es el Aceite de Oliva, se aumenta la dureza, pero el material tiene cierta ductilidad permitiendo que el material no quede totalmente frágil.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 General**

- Implementar un Medio de Enfriamiento alternativo para realizar el Tratamiento Térmico que es el Temple, utilizando Grasas Vegetales.

### **6.4.2 Específicos**

- Verificar la estructura metalográfica del acero AISI 1045 templando en Aceite de Oliva.
- Evaluar la dureza y la resistencia a la tracción obtenida realizando el Temple en el medio mencionado.
- Establecer el procedimiento a realizarse, para el desarrollo del tratamiento térmico mencionado.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

Esta investigación, está basada en el estudio de Materiales que es una rama muy importante de la Ingeniería Mecánica con este estudio se puede dar medios alternativos al momento de realizar el Tratamiento Térmico que es el Temple del Acero 1045.

### **6.5.1 Análisis Económico**

La evaluación económica del proyecto de investigación tiene como objetivo determinar el impacto, que el mismo produce sobre la economía como un todo. En el presente trabajo, los costos se pueden evaluar de una forma, la cual justifica el desarrollo del estudio, para la planificación y realización del mismo.

A continuación se presentan los costos de los materiales, los cuales se utilizaron para la realización del presente proyecto de investigación, los mismos están al alcance en el mercado, haciendo factible su desarrollo.

### 6.5.1.1 Costos Directos

**TABLA 6.1** Costos para realizar el temple en el Acero AISI 1045 utilizando como medios de enfriamiento Grasas Vegetales.

Fuente propia: Autor

PROCESO	MATERIALES O ELEMENTOS	COSTO (USD)
Adquisición del Material	Acero AISI 1045	22,92
Adquisición de las Grasas Vegetales	Aceite de Oliva	23,2
Maquinado del material	Torneado de las probetas	70
Tratamiento Térmico (Temple)	Horno de Tratamiento Térmico	100
Acondicionamiento de la superficie	Arco de sierra 12' PRETUL	6,16
	Hojas de sierra	8
	Lima media caña	3,65
	Lima fina TRUPER	8,75
	Cepillo de alambre	3,86
	Pulidora manual p/auto PRETUL 110W	47,92
	Paño metalográfico	25
	Lijas N° 240-320-400-600	12
Ataque químico	Reactivo Nital 2	12.00
Ejecución u Operación	Asesoría Técnica	156
Evaluación	Presentación de reporte	60
	Total	547,46
	10% Imprevistos	54,746
	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>602,206</b>

### **6.5.1.2 Costos Indirectos**

Los costos indirectos se presentan como materiales informáticos, de computación, maquinaria, etc. utilizado durante el desarrollo del estudio los cuales son indispensables para la ejecución del mismo.

### **6.5.2 Análisis Tecnológico**

Con la culminación de los ensayos realizados sobre el temple, utilizando Grasas Vegetales como medios de enfriamiento se determina que es factible realizar dicho estudio, tomando en cuenta varios factores que ayudaron a profundizar sobre este tema.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizan Técnicas conocidas, motivo por el cual no es necesario de una tecnología avanzada. El mismo se lo ejecuta con el seguimiento de normas.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

La presente propuesta se basa en la información recolectada y presentada en el CAPITULO II que corresponde al marco teórico, donde se presentan los factores y características básicas de los ensayos realizados durante el estudio para determinar que el Aceite de Oliva el cual es una Grasa Vegetal es el medio idóneo para realizar el temple, con el mismo obtenemos las mejores propiedades.

Con la preparación de las probetas se ha procedido a realizar los siguientes cálculos los cuales arrojan los resultados esperados de tal forma la propuesta se ha logrado realizar de acuerdo a los siguientes puntos:

Datos iniciales:

Acero AISI 1045

$$\emptyset_o = 1/2" (12.7mm)$$

$$l_o = 127mm$$

Con la ayuda de la máquina Universal que se encuentra en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y siguiendo la norma ASTM E8-04 se determina que la carga máxima que resiste el Acero AISI 1045 después de realizado el tratamiento térmico Temple es:

$$P_{max} = 12283 Kg$$

$$\emptyset_f = 9.2 mm$$

$$l_f = 137.46mm$$

### 6.6.1 Cálculo de Área inicial de la probeta

$$A_o = \frac{\pi(\emptyset_o)^2}{4} \quad [21]$$

$$A_o = \frac{\pi(12.7)^2}{4}$$

$$A_o = 126.67 mm^2$$

### 6.6.2 Cálculo de Área final de la probeta

$$A_f = \frac{\pi(\emptyset_f)^2}{4} \quad [22]$$

$$A_f = \frac{\pi(9.2)^2}{4}$$

$$A_f = 66.48 mm^2$$

---

[21, 22] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)



### 6.6.3 Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad [23]$$

$$S_{ut} = \frac{12283}{126.67}$$

$$S_{ut} = 96.96 \text{ Kg/mm}^2$$

### 6.6.4 Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%)

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \quad [24]$$

$$\varepsilon = \frac{137.46 - 127}{127} * 100$$

$$\varepsilon = 8.27\%$$

### 6.6.5 Cálculo del porcentaje de Reducción de área

$$\%reducción = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \quad [25]$$

$$\%reducción = \frac{126.67 - 66.48}{126.67} * 100$$

$$\%reducción = 47.51\%$$

---

[23] SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett. (Pág. 28)

[24, 25] ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. (3<sup>ra</sup> Edición). Thomson. México. (pág. 131, 137)

### 6.6.6 Ensayo Metalográfico

Se realiza la preparación de la superficie para determinar la composición de las estructuras metalográficas utilizando software y con la ayuda de un sistema de circuito cerrado de televisión.

Un vez realizado el ensayo se tiene los siguientes porcentajes en las estructuras metalográficas, determinándose que la mayoría está constituida por Martensita en un porcentaje de 68.8%, por Ferrita en un 4.6% y Perlita en 25.2%.

#### 6.6.6.1 Cálculo de la Dureza utilizando la regla de fases

$$HB = \frac{\%Ferrita(HB) + \%Perlita(HB) + \%Martensita(HB)}{100} \quad [26]$$

$$HB = \frac{\%Ferrita(90) + \%Perlita(300) + \%Martensita(640)}{100}$$

$$HB = \frac{4.6(90) + 25.2(300) + 68.8(640)}{100}$$

$$HB = 520 \text{ HB}$$

$HB = 520 \text{ HB} \approx 52.33 \text{ HRC}$  Según tabla de conversión (Anexo A3).

### 6.6.7 Determinación del tamaño de grano

Para determinar el tamaño de grano es necesario tener conocimiento de la norma ASTM E112 (Anexo B2) en la cual se distinguen tres procedimientos, para este caso se utilizará el método Planimétrico.

Por visualización se debe contar el número de granos que están dentro del círculo  $N_i = 316$ , y el número de granos interceptados por el círculo

---

[26] SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F. Pág. 188-189

$N_{int} = 102$ , así:

$$NA = f \left( Ni + \frac{N_{int}}{2} \right) \quad [27]$$

$$NA = f \left( 316 + \frac{102}{2} \right)$$

$$NA = f * 367$$

$$f = 2 \text{ por Jeffries (100\_X)}$$

$$NA = 2 * 367 = 734$$

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

$$G = 3.321918 * \log(734) - 2.954$$

$$G = 6.6 \text{ (Tamaño de grano ASTM)}$$

## 6.7 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el desarrollo del estudio se requiere del seguimiento de varias actividades, las cuales deben seguirse de una manera ordenada las mismas se que detallan a continuación:

1. Selección del material.
2. Maquinado de las probetas.
3. Realización del Tratamiento Térmico (TEMPLE).
4. Desarrollo del Ensayo de Tracción.
5. Preparación de la probeta.
6. Preparación metalográfica de la superficie para el análisis.
7. Ataque químico de la superficie.

---

[27] <http://www.ArchivosMatI%2FTAMANODEGRANO.pdf%20grano%20astm>

8. Evaluación y resultado.
9. Ejecución del Ensayo de Dureza.

### 6.7.1 Selección del material

El material a emplear durante el desarrollo del estudio es el Acero AISI 1045 el cual fue adquirido directamente de ACEROS BOHLER DEL ECUADOR S.A. el mismo tiene un porcentaje medio de carbono que es 0.45% motivo por el cual es apto para realizar el tratamiento propuesto, las propiedades mecánicas de este acero son: resistencia a la tracción 580-700 N/mm<sup>2</sup> (60 Kg/mm<sup>2</sup>). El estado de suministro de éste material es recocido con una dureza aproximada de 180 HB, se puede utilizar en partes de maquinaria sometidas a esfuerzos normales como: árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, portamatrices (Anexo A4).



**GRÁFICO 15 Ejes de acero AISI 1045 (Fábrica)**

**Fuente propia: Autor**

## 6.7.2 Maquinado de las probetas

Para realizar el maquinado se toma en consideración la Norma ASTM E8-04 (Anexo B1) en la misma se aprecia las dimensiones de las probetas utilizadas para realizar el ensayo de tracción y las especificaciones para realizar dicho ensayo.

### 6.7.2.1 Corte de las probetas

Según la norma ASTM E8-04 (pág. 7) las dimensiones de la probeta deben ser:

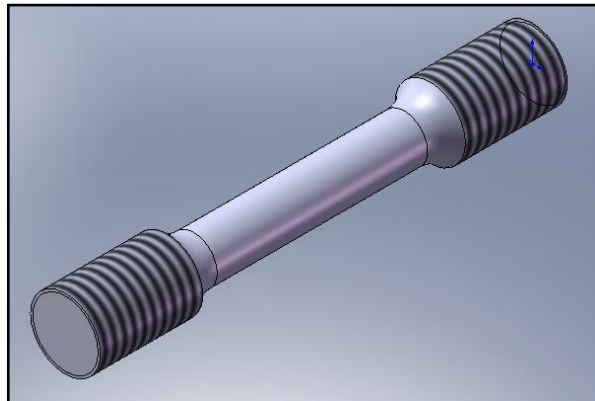


GRÁFICO 16 Espécimen 01 acero AISI 1045 (Probeta para el ensayo de tracción)

Fuente propia: Autor

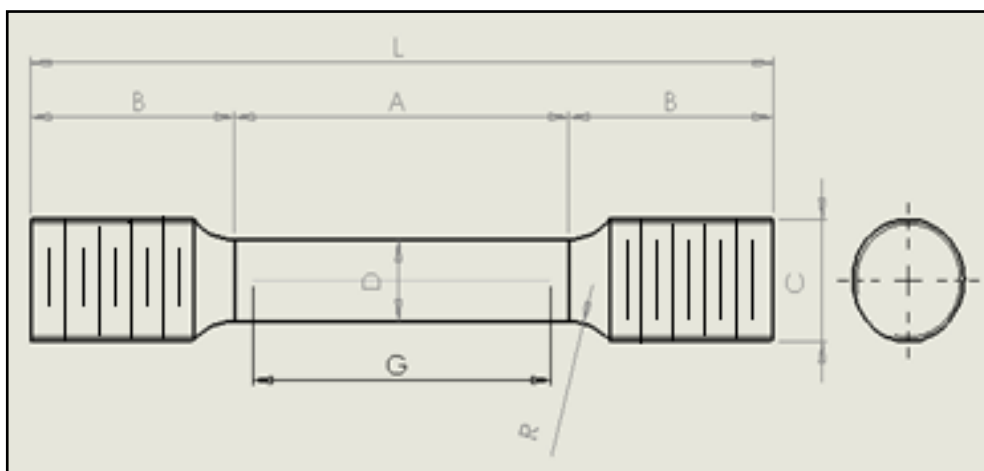


GRÁFICO 17 Espécimen 01 Acero AISI 1045 (Probeta para el ensayo de tracción dimensiones)

Fuente: Norma ASTM E8-04 (pág.7 espécimen 1)

Donde:

**TABLA 6.2** Dimensiones del Espécimen 01 acero AISI 1045 (Probeta para el ensayo de tracción). **Fuente propia: Autor**

<b>Símbolo</b>	<b>Denominación</b>	<b>Dimensión (pulg)</b>
L	Longitud total	5
A	Longitud de la reducción de sección	$2\frac{1}{4}$
B	Distancia del fin de la sección	$1\frac{3}{8}$
D	Diámetro en la reducción de sección	$\frac{1}{2}$
G	Distancia de calibración	2
R	Radio del chaflán	$\frac{3}{8}$
C	Diámetro en el final de la sección	$\frac{3}{4}$

Según las dimensiones de la tabla 6.1 se debe cortar las probetas de 5 pulgadas.

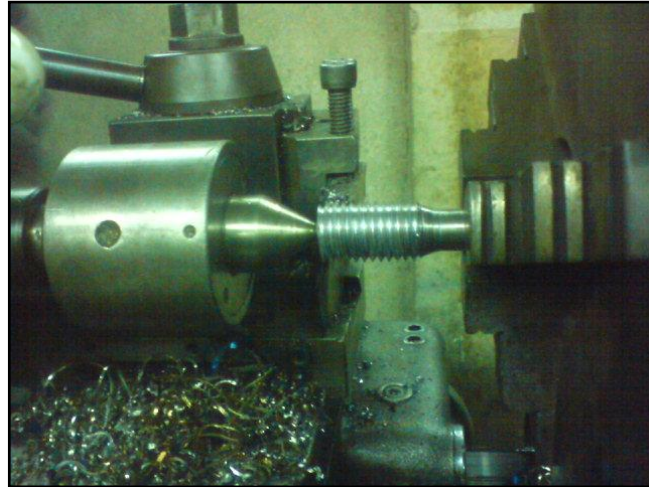


**GRÁFICO 18** Probeta cortada de 5 pulgadas (Acero AISI 1045)

**Fuente propia: Autor**

Una vez realizado los cortes y con la ayuda de un torno manual se debe desbastar la reducción del área, la misma debe quedar de  $\frac{1}{2}$  pulgada, seguido de éste paso se procede a realizar la rosca la cual es de  $\frac{3}{4}$  de

pulgada, la misma que luego va a ser ensayada en la máquina Universal utilizando los acoples adecuados.



**GRÁFICO 19 Maquinado de la Probeta (Acero AISI 1045)**

**Fuente propia: Autor**

Con la culminación del maquinado de las probetas se recomienda dar un buen acabado pues es importante al momento de realizar el ensayo de tracción.



**GRÁFICO 20 Probetas de Acero AISI 1045 para ser templadas**

**Fuente propia: Autor**

### 6.7.3 Realización del Tratamiento Térmico (TEMPLE)

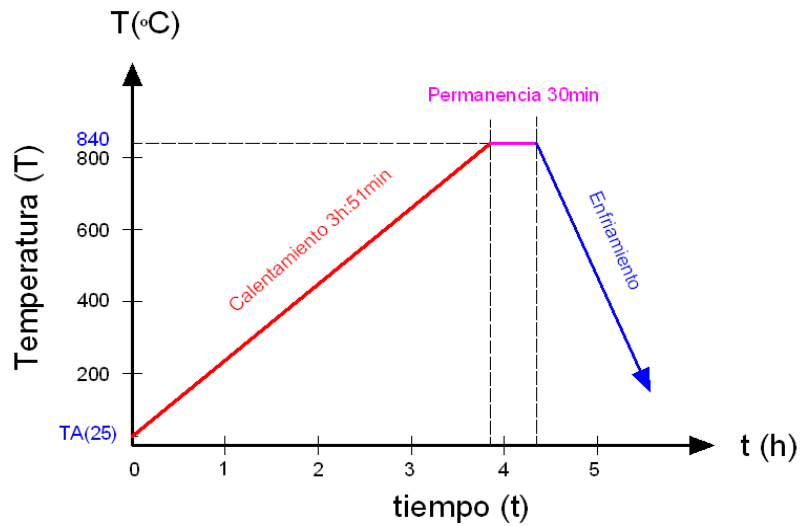
Para realizar el Temple se utiliza un horno para tratamientos térmicos a una temperatura de 840°C debido al porcentaje de carbono que tiene el acero AISI 1045, para llegar a esta temperatura de debe esperar 4 horas aproximadamente. Desde el encendido del horno se debe poner las probetas en el interior del horno. Cuando el horno llega a la temperatura requerida se debe mantener las probetas en el interior un tiempo de 1 hora por cada pulgada de diámetro.



**GRÁFICO 21** Horno para realizar Tratamientos Térmicos

Fuente propia: Autor





**GRÁFICO 22 Diagrama Térmico**

Fuente propia: Autor

Seguido se realiza el enfriamiento rápido en el Aceite de Oliva que es una Grasa Vegetal.



**GRÁFICO 23 Probeta enfriada en Aceite de Oliva**

Fuente propia: Autor

#### 6.7.4 Desarrollo del Ensayo de Tracción

Una vez templadas las probetas se realiza el ensayo de tracción, para esto se debe calibrar las probetas en una longitud de 2 pulgadas para ubicar el deformímetro en las marcas señaladas.



**GRÁFICO 24** Probeta calibrada

Fuente propia: Autor

Se procede a montar la probeta en la Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton. La cual se encuentra en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica para aplicar carga utilizando el método de deformación controlada.



**GRÁFICO 25** Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton.

Fuente propia: Autor



**GRÁFICO 26** Ubicación de la probeta en el acople de la Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton.

Fuente propia: Autor

Se aplica carga hasta llegar a la ruptura de la probeta ensayada, tomando mediciones de carga-deformación las cuales posteriormente van a servir para la realización de los gráficos y cálculos necesarios, se realiza la calibración de la probeta luego de la ruptura.



**GRÁFICO 27** Probeta calibrada después de realizado el ensayo de tracción

Fuente propia: Autor

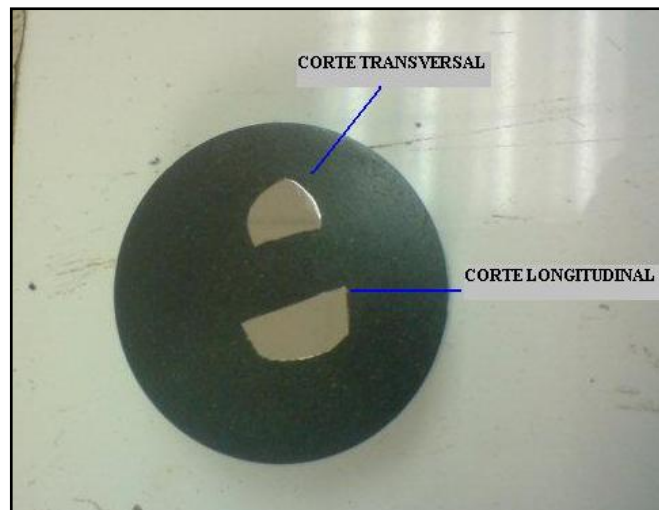
### 6.7.5 Preparación de la probeta

Posterior al ensayo de tracción realizado, se prepara la probeta para realizar el ensayo metalográfico, la misma que se procede a cortar en la

parte del encuellamiento para ver el crecimiento del grano de manera transversal y longitudinal. Para realizar dicha preparación se debe montar las probetas en baquelita con la ayuda de una Prensa Hidráulica Manual.



**GRÁFICO 28 Prensa Hidráulica Manual**  
Fuente propia: Autor



**GRÁFICO 29 Probeta montada en Baquelita**  
Fuente propia: Autor

### 6.7.6 Preparación metalográfica de la superficie para el análisis

Cuando la probeta está montada en la baquelita se adecúa la superficie para observar la estructura metalográfica, siguiendo los siguientes pasos:

#### 6.7.6.1 Desbaste grueso

En ésta operación se remueven las rebabas y las deformaciones debidas al corte. Para esto se puede utilizar una lima de media caña seguida de una lima fina con las cuales deben ser desbastadas de una manera uniforme. Es importante que la probeta se mantenga fría sin elevación de temperatura.



**GRÁFICO 30** Lima media caña y lima fina utilizadas para el desbaste grueso

Fuente propia: Autor

#### 6.7.6.2 Desbaste fino

En ésta etapa se requiere remover la zona deformada causada por el proceso anterior. Se utiliza abrasivos (lijas números: 240-320-400-600 granos por pulgada cuadrada). Sin embargo, cuando una zona de deformación está siendo removida, se formará una nueva zona de menor deformación, no tan severa ni profunda como la inicial, ocasionada por la acción de los granos abrasivos utilizados en esta etapa. La muestra se desliza sobre las lijas en dirección opuesta al operador de manera que se

formen rayas en una sola dirección, para eliminar éstas se gira la probeta 90°.



**GRÁFICO 31 Banco de desbaste para cuatro tipos de papel abrasivo (240-320-400-600 granos por pulgada cuadrada)**

**Fuente propia: Autor**

### **6.7.6.3 Pulido grueso**

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



**GRÁFICO 32 Banco de Pulido**

**Fuente propia: Autor**

#### **6.7.6.4 Pulido fino**

Luego de concluido el pulido grueso, la superficie de la muestra se encuentra con pequeñas irregularidades, las mismas que serán eliminadas para posteriormente revelar la microestructura real que tiene la probeta, esta operación se ejecuta utilizando un abrasivo (alúmina de 0,05 – 0,3 micras de tamaño promedio en suspensión en agua) la superficie deberá quedar totalmente brillante y sin líneas.



**GRÁFICO 33 Pulido fino**

**Fuente propia: Autor**

#### **6.7.7 Ataque químico de la superficie**

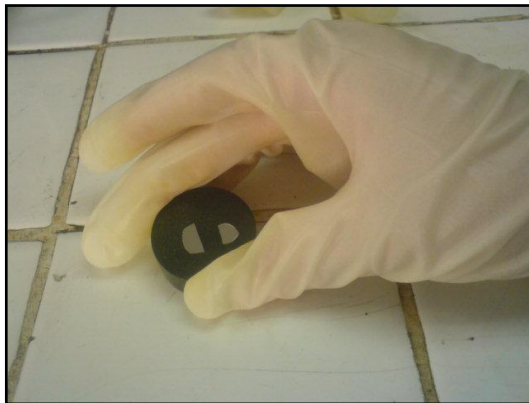
Cuando la superficie se encuentra perfectamente pulida se realiza el ataque químico para hacer visible al microscopio metalográfico las características estructurales del acero utilizado. La selección del reactivo de ataque se la realiza en base al tipo de acero en este caso se utiliza el Nital 2 propio para aceros de contenido medio de carbono por un tiempo de 5 seg.



**GRÁFICO 34 Ataque Químico**

**Fuente propia: Autor**

El secado de la superficie atacada químicamente se lo realiza al ambiente para evitar que la superficie a analizar se queme.



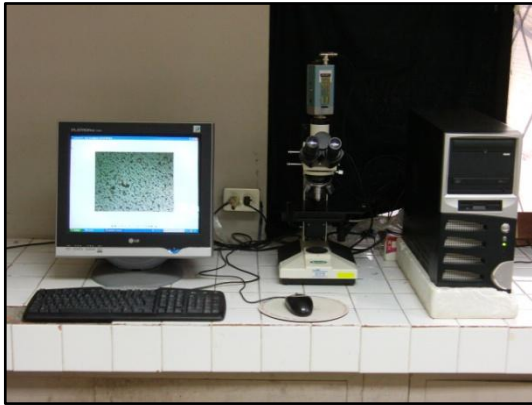
**GRÁFICO 35 Observación de la probeta atacada**

**Fuente propia: Autor**

### **6.7.8 Evaluación y resultado**

Seguidamente se observa la estructura metalográfica obtenida para realizar los cálculos posteriores, para esto se cuenta con un sistema de circuito cerrado de televisión el cual está formado por computador, cámara digital acoplada al microscopio, televisor y software.





**GRÁFICO 36 Sistema de circuito cerrado de televisión**

**Fuente propia: Autor**

### **6.7.9 Ejecución del Ensayo de Dureza**

El ensayo de dureza se lo realiza en el durómetro en el cual utiliza una escala Rockwell C para determinar la dureza alcanzada después del tratamiento realizado a la probeta.



**GRÁFICO 37 Durómetro**

**Fuente propia: Autor**

## 6.8 ADMINISTRACIÓN

A continuación se presenta una tabla de los costos que fueron necesarios para el desarrollo del estudio tomando en cuenta todos los factores presentes y necesarios.

**TABLA 6.3** Administración de Tesis

Fuente propia: Autor

CANTIDAD	DETALLE	PRECIO(Unit)	VALOR
<b>RUBROS DE GASTOS (RECURSOS MATERIALES)</b>			
1	Acero AISI 1045 $\varnothing$ 5/8"x1m	4,07	4,07
2	Acero AISI 1045 $\varnothing$ 3/4"x1m	9,425	18,85
2	Litros de Aceite de Maíz	3,65	7,3
2	Litros de Aceite de Girasol	3,21	6,42
2	Litros de Aceite de Oliva	11,6	23,2
2	Kilo de Aceite de Palma	1,25	2,5
1	Kilo Manteca Vegetal	2,32	2,32
2	Litros Aceite SAE 10W30	5,5	11
2	Litros de Agua	0,8	1,6
1	Arco de sierra 12' PRETUL	6,16	6,16
4	Hojas de Sierra	2	8
1	Lima media caña	3,65	3,65
1	Lima fina TRUPER	8,75	8,75
1	Cepillo de alambre	3,86	3,86
1	Pulidora manual p/auto PRETUL 110W	47,92	47,92
1	Metros paño metalográfico	25	25
5	Pliegos de lija Nº 240	0,6	3
5	Pliegos de lija Nº 320	0,6	3
5	Pliegos de lija Nº 400	0,6	3
5	Pliegos de lija Nº 600	0,6	3
1	Reactivo Nital 2	12	12
1	Libra de alúmina	160	160
	Maquinado de probetas	140	140
7	Recipientes de pintura con tapa	1,7	11,9
		<b>TOTAL 1</b>	<b>516,5</b>
<b>RUBROS DE GASTOS (RECURSOS HUMANOS)</b>			
1	Director de tesis	145	145
1	Recolector de Información	50	50
2	Ayudante para preparación de probetas	50	100
		<b>TOTAL 2</b>	<b>295</b>

<b>RUBROS DE GASTOS (RECURSOS VARIOS)</b>			
3	Resmas de hojas	5,89	17,67
900	Impresiones	0,15	135
300	Copias	0,02	6
3	Anillados	3	9
3	Empastados	10	30
250	Horas Internet	0,8	200
	Laboratorios	100	100
	Bibliografía	50	50
	Transporte	300	300
		<b>TOTAL 3</b>	<b>847,67</b>
		SUBTOTAL	1659,17
		10% Imprevistos	165,917
		<b>TOTAL</b>	<b>1825,087</b>

## 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Con la culminación del presente trabajo de investigación se determina que la utilización de las grasas vegetales arroja resultados apreciables de dureza que es el objetivo del principal del temple en el acero.

La investigación se la realizó en la Universidad Técnica de Ambato en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, pues aquí se cuenta con todo lo indispensable para el desarrollo del estudio, siendo motivo de recalcar el aporte que esta institución tiene.

Para mejorar el estudio se recomienda que se realice otros ensayos en otros medios de enfriamiento o a su vez en otro tipo de acero para comparar los resultados con los presentados en este estudio.

Es importante mencionar que realizar estudios en el Área de Materiales aporta en gran magnitud al desarrollo de las industrias pues comúnmente se utilizan éstos materiales en las mismas.

Una aplicación del Acero AISI 1045, templado en un medio de enfriamiento como el Aceite de Oliva, el cual es una Grasa Vegetal, es en los fistos o sacabocados para cuero, pues se necesita que la boca del fisto sea totalmente duro para que no se deforme el filo, y que no sea frágil porque está sometido a golpe, de la troqueladora para cuero.

## 6.10 BIBLIOGRAFÍA

- 1) SIDNEY, Avner, (1978). Introducción a la Metalurgia Física. McGraw-Ingramex S.A. México, México D.F.
- 2) SHIGLEY. (2006). Mechanical Engineering Design. (Eight Edition). McGraw-Hill. Budynas-Nisbett.
- 3) CALLISTER, William D. (2007). Materials Science and Engineering. (Seven Edition). John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- 4) ASKELAND, Donald R. (1998). (Tercera Edición) Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson. México.
- 5) SMITH, William, (2005). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería Materiales. Concepción Fernández. España, Madrid.
- 6) ALVARADO, Juan de Dios, (2001). Métodos para medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos. Acribia S.A. España.
- 7) MOTT, Robert, (2006). Mecánica de Fluidos. Pearson. México, México.
- 8) MANGONON, Pat L. (2001). Ciencia de Materiales Selección y Diseño. Primera Edición. Pearson. México.

### **Páginas Web:**

- 1) [www.thyssenkrupp.cl/.../Aceros%20maquinaria%20barras/SAE%201045.pdf](http://www.thyssenkrupp.cl/.../Aceros%20maquinaria%20barras/SAE%201045.pdf)
- 2) [www.udb.edu.sv/.../guía%20cm%20III%20y%20IV%200208.pdf](http://www.udb.edu.sv/.../guía%20cm%20III%20y%20IV%200208.pdf) –
- 3) [www.fing.uncu.edu.ar/catedras/.../archivos/TPTTermicos.pdf](http://www.fing.uncu.edu.ar/catedras/.../archivos/TPTTermicos.pdf) -

- 4) [www.udb.edu.sv/Academia/.../guía%20cm%20III%20y%20IV%20208.pdf](http://www.udb.edu.sv/Academia/.../guía%20cm%20III%20y%20IV%20208.pdf)
- 5) <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/lipidos/vegcomunes.html>
- 6) <http://www.mitecnologico.com/Main/TempleTratamientoTermicoAcero>
- 7) <http://www.slideshare.net/xMorfe0x/metodos-de-tratamientos-termicos-en-un-acero-sae-1045>
- 8) <http://www.mailxmail.com/curso-metalografia/metodos-determinar-tamano-grano>
- 9) <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9403/6/3.4.%20El%20aceite%20vegetal.pdf>
- 10) <http://www.monografias.com/trabajos55/dureza-acero-aisi/dureza-acero-aisi2.shtml>
- 11) <http://tq.educ.ar/grp0128/Ensayos/Metalog.htm>
- 12) <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090620170500AAQuLEB>
- 13) <http://www.productoslirio.com/mantecas.htm>
- 14) [http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bionsan.com%2Ffichas\\_tecnicas%2Faceite\\_de\\_oliva\\_extra\\_virgen\\_arbequina.pdf&rct=j&q=hoja%20tecnica%20del%20aceite%20de%20olva&ei=mbnbTbyqOoSXtweGysTHDw&usg=AFQjCNF9IrfOhCt-fNMAS-6XM8ReUQW-0Q&cad=rja](http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bionsan.com%2Ffichas_tecnicas%2Faceite_de_oliva_extra_virgen_arbequina.pdf&rct=j&q=hoja%20tecnica%20del%20aceite%20de%20olva&ei=mbnbTbyqOoSXtweGysTHDw&usg=AFQjCNF9IrfOhCt-fNMAS-6XM8ReUQW-0Q&cad=rja)
- 15) <http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.gustavheess.com%2Fpdf%2F2204seg.pdf&rct=j&q=hoja%20tecnica%20del%20aceite%20de%20gir>

asol&ei=\_bnbTZLRG9O4twelieHBDw&usg=AFQjCNEZqbeYPvGAL  
lmdsAFsGsF3ycMKQA&cad=rja

16) [http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.gustavheess.com%2Fpdf%2F1101seg.pdf&rct=j&q=hoja%20tecnica%20del%20aceite%20de%20palm&ei=yLrbTeL0FZGFtgeEz\\_zPDw&usg=AFQjCNFhvm7srTWFY7YI9SIrvKTvKPcMYg&cad=rja](http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.gustavheess.com%2Fpdf%2F1101seg.pdf&rct=j&q=hoja%20tecnica%20del%20aceite%20de%20palm&ei=yLrbTeL0FZGFtgeEz_zPDw&usg=AFQjCNFhvm7srTWFY7YI9SIrvKTvKPcMYg&cad=rja)

17) <http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=5&ved=0CDQ0000037e13f7e2390%2FGU%25C3%258DA%2520TRATAMIENTOS%2520T%25C3%2589RMICOS.doc&rct=j&q=temple%20en%20el%20acero%20aisi%201045&ei=07vbTY7DYzBtgf0taS1Dw&usg=AFQjCNGCy54JgaWsFR20AvXWIT4sKISYHQ&cad=rja>

18) [http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=10&ved=0CFQQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fcentraltrust.net%2Fivanbohman%2Fproductopdf%2FACEROSPECIALSWEB.pdf&rct=j&q=temple%20en%20el%20acero%20aisi%201045&ei=07vbTY7DYzBtgf0taS1Dw&usg=AFQjCNFno5XfTEjkb7cubjE\\_U3ZwWg9Elg&cad=rja](http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=10&ved=0CFQQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fcentraltrust.net%2Fivanbohman%2Fproductopdf%2FACEROSPECIALSWEB.pdf&rct=j&q=temple%20en%20el%20acero%20aisi%201045&ei=07vbTY7DYzBtgf0taS1Dw&usg=AFQjCNFno5XfTEjkb7cubjE_U3ZwWg9Elg&cad=rja)

19) [http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=10&ved=0CFwQFjAJ&url=http%3A%2F%2Ffainweb.uncoma.edu.ar%2Fmaterias%2Fmateriales\\_II%2FArchivos\\_MatII%2FTAMANO\\_DE\\_GRANO.pdf&rct=j&q=tama%C3%B1o%20de%20grano%20astm&ei=9Yz3TdXiBqv0AGZzqCcCw&usg=AFQjCNHi9VZ5FIMVV9IzKkBAoYJLcRmSMg&cad=rja](http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=10&ved=0CFwQFjAJ&url=http%3A%2F%2Ffainweb.uncoma.edu.ar%2Fmaterias%2Fmateriales_II%2FArchivos_MatII%2FTAMANO_DE_GRANO.pdf&rct=j&q=tama%C3%B1o%20de%20grano%20astm&ei=9Yz3TdXiBqv0AGZzqCcCw&usg=AFQjCNHi9VZ5FIMVV9IzKkBAoYJLcRmSMg&cad=rja)

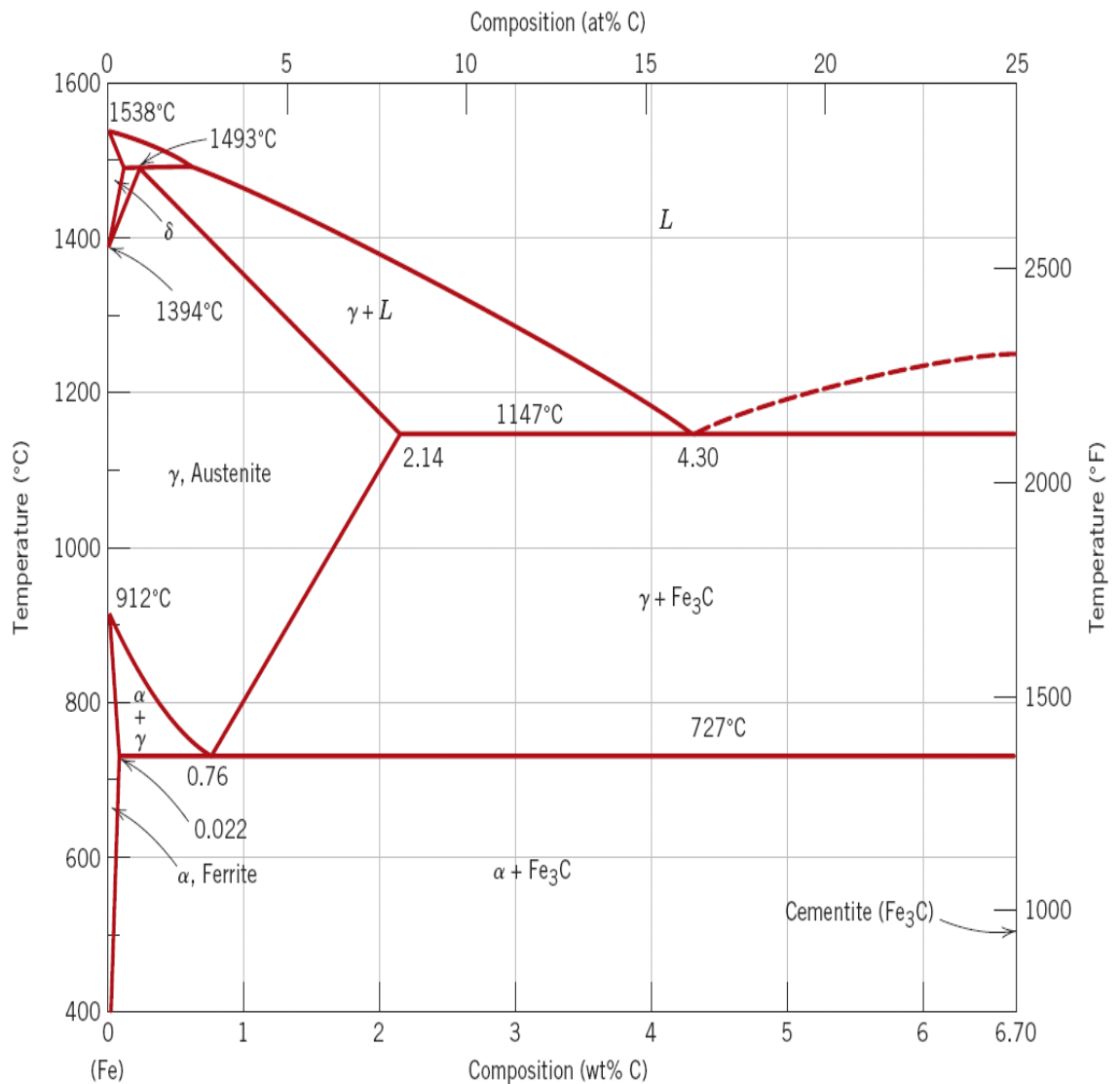
20) ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19426-2959, United States.

# **ANEXOS**



# ANEXO A1

## DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

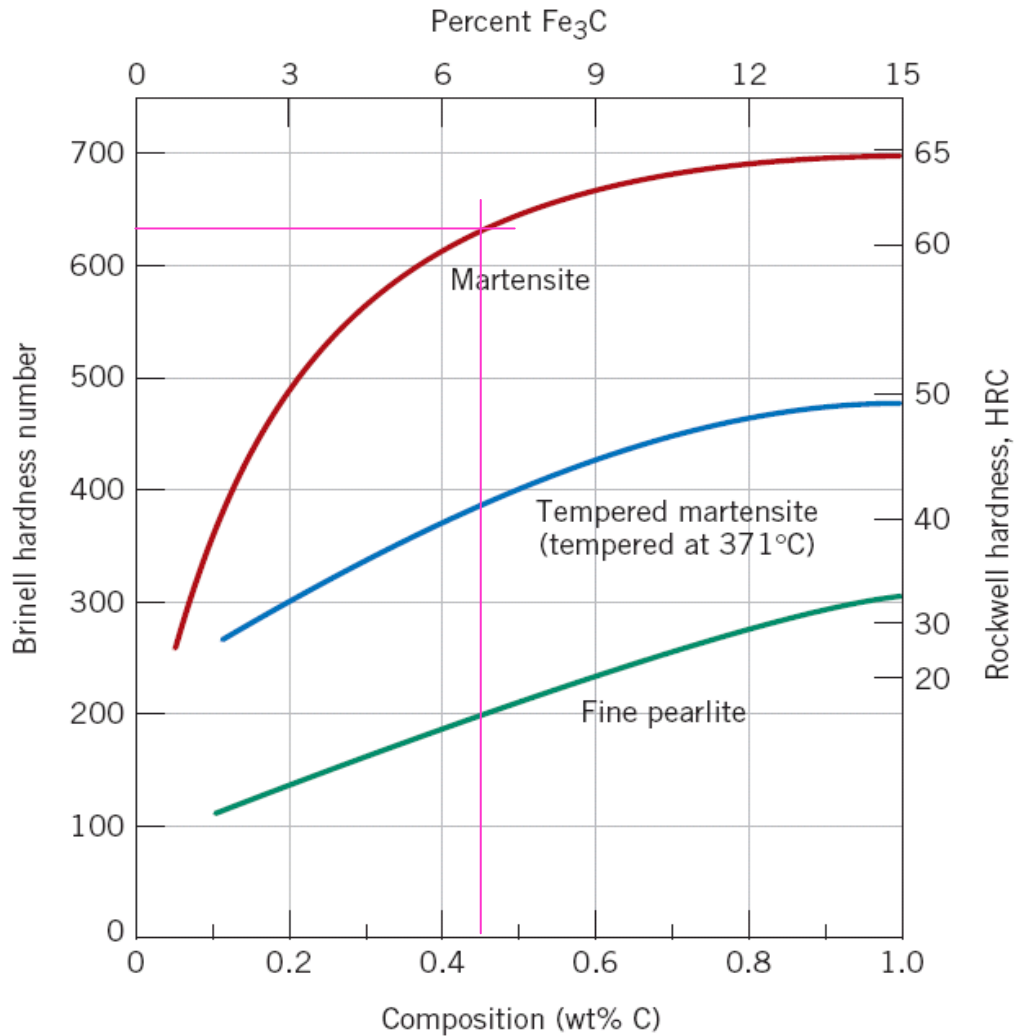


The iron–iron carbide phase diagram. [Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH.]

**Fuente:** CALLISTER, William D. (2007). *Materials Science and Engineering*. (Seven Edition). John Wiley & Sons, Inc. United States of America. Pág. 290

## ANEXO A2

### DIAGRAMA DUREZA DE LA MARTENSITA SEGÚN EL CONTENIDO DE CARBONO



Hardness (at room temperature) as a function of carbon concentration for plain carbon martensitic, tempered martensitic [tempered at 371°C (700°F)], and pearlitic steels. (Adapted from Edgar C. Bain, *Functions of the Alloying Elements in Steel*, American Society for Metals, 1939, p. 36; and R. A. Grange, C. R. Hribal, and L. F. Porter, *Metall. Trans. A*, Vol. 8A, p. 1776.)

**Fuente:** CALLISTER, William D. (2007). *Materials Science and Engineering*. (Seven Edition). John Wiley & Sons, Inc. United States of America. Pág. 343

# ANEXO A3

TABLA DE COMPARACIÓN ENTRE DUREZA ROCKWELL, BRINELL, BRINELL SHORE VICKERS Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

HRC 150kg	Rockwell		Vickers HV kg/mm <sup>2</sup>	Dureza Brinell kg/mm <sup>2</sup>	Shore	Resistencia a la tracción kg/mm <sup>2</sup>	
	HR 62,5	HRA 60 kg				acero al carbono =0,36 HB	acero aleado =0,34 HB
67	84		900	775	106	267	264
66	-	83.9	870	752	101	275	256
65	83	83.4	840	735	99	264	249
64	-	82.8	815	710	96	255	241
63	82	82.3	790	690	93	248	235
62	-	81.8	760	670	91	240	228
61	81	81.2	730	652	88	234	221
60	-	80.7	700	635	85	227	214
59	80	80.2	690	620	83	220	208
56	-	79.6	670	600	80	215	205
57	79	79.1	650	580	78	210	196
56	-	78.6	630	571	75	205	194
55	78	78.1	610	555	73	200	188
54	-	77.5	590	540	72	195	184
53	77	77.0	575	530	71	186	190
52	-	76.5	560	515	69	178	175
51	76	76.0	540	500	68	174	170
50	-	75.4	525	487	67	170	165
49	75	74.9	510	475	65.5	165	160
48	-	74.4	490	462	64	161	156
47	74	73.8	480	447	62	157	152
46	-	73.3	465	436	60	153	148
45	73	72.8	450	424	59	149	144
44	72	72.3	440	413	57	145	141
43	-	71.7	425	406	55	141	137
42	-	71.2	415	398	54	137	133
41	-	70.7	400	382	53	134	130
40	70	70.2	390	377	52	131	127
39	-	69.7	380	369	50	127	125
38	69	69.1	370	353	49	125	120
37	-	68.6	360	345	48	122	118
36	68	68.1	350	339	47	119	115
35	-	67.6	345	331	46	116	113
34	67	67.0	330	323	45	114	110
33	-	66.5	320	316	45.5	111	108
32	-	66.0	315	310	44	109	105
31	65	65.6	310	305	43	107	103
30	-	65.0	305	299	42	103.5	100
29			295	290	41	101.5	98
28			285	282	40	99	96
27			280	276	39	96.5	93.5
26			270	268	38	94	91
25		HR b	265	262	37	92.5	89
24			260	257	36.5	90.5	87
23		100 kg	255	252	36	87.5	85.5
22			245	245	35.5	86.5	83
21		100	240	240	35	84.5	81.5
20		99	235	234	34	82.5	79.5
19		98	230	229	33.5	80.5	78
18		97	225	223	33	78.5	76
17		96	220	218	32	76.5	74
16		95	215	213	31	75	72.5
15		94	210	209	30.5	73.5	71
14		93.5	205	204	30	71.5	69.5
13		93	200	199	29.5	70	67.5
12		92	195	195	29	69	66
11		91	191	191	29	67.5	65
10		90	187.5	187	28.5	66	63.5
9		89.5	185	184	28	65	62
8		89	180	181	27.5	64	61.5
7		88	177.5	178	27		60.5

Estos factores de conversión representan el promedio de los ensayos de varios institutos con diferentes materiales y equipos de ensayo. Por lo cual no deben ser considerados más que como valores aproximados de comparación.

**Fuente:** Manual de Aceros Especiales Bohler. (2011). Segunda edición. Quito.

# ANEXO A4

## BÖHLER V 945

(Manual de Aceros Especiales Bohler)

MANUAL DE ACEROS ESPECIALES - 2011



### BÖHLER V 945

**Tipo de aleación:** C 0.45 Si 0.25 Mn 0.65 %

Color de identificación: Blanco  
Estado de suministro: Recocido 180 HB

Equivalencia	AISI: ~ 1045
	DIN: C45
	No. Mat. 1.1191

#### PROPIEDADES:

Acero al carbono de alta calidad, de mayores propiedades mecánicas que el acero de transmisión, puede mejorar sus propiedades mecánicas si es bonificado.

#### EMPLEO:

Para la fabricación de partes de maquinaria sometida a esfuerzos normales, como: árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, portamatrices.

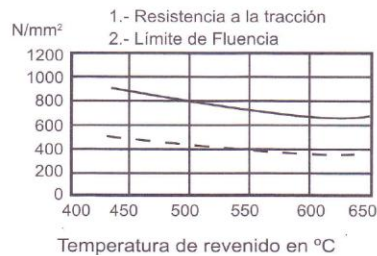
#### TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado:	1100 – 850 °C
Recocido:	650 – 700 °C
enfriamiento lento en el horno	
Normalizado:	840 – 870 °C
Distensionado:	500 °C
Temple:	790 – 850 °C
enfriamiento en: agua, aceite (piezas pequeñas), sales	
Dureza obtenible:	54 – 56 HRC
Revenido: ver en el diagrama de bonificación la resistencia requerida.	
Nitruración: en baño de sales	580 °C

#### PROPIEDADES MECÁNICAS

Estado	Diámetro mm	Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento (Lo=5d) min %	Contracción mín. %
Recocido	16 - 100	340	650 - 750	17	35
	100 - 250	330	580 - 700	18	---

#### DIAGRAMA DE BONIFICACIÓN



**SOLDADURA DE UNIÓN O REPARACIÓN**


Electrodo recomendado: UTP 63 ó 630


Precauciones:


**UTP 63 ó 630**

 No precalentar excepto que la temperatura ambiente sea menor a 10 °C, si es así precalentar a 100 °C.  
 Dejar enfriar lentamente luego de soldar.

**PRESENTACIÓN:\***

CUADRADO 	Desde:	Ancho	4,76	mm	Alto	4,76	mm
	Hasta:	Ancho	50,80	mm	Alto	50,80	mm

REDONDO 	Desde:	Diámetro	20,00	mm
	Hasta:	Diámetro	500,00	mm

LAMINA 	Desde:	Espesor	6,00	mm
	Hasta:	Espesor	120,00	mm

**Fuente:** Manual de Aceros Especiales Bohler 2011. Pág. 80



## ANEXO A6

Densidad de aceites y grasas vegetales a distintas temperaturas y términos de la ecuación lineal de regresión

Producto	Temperatura [°C]						$(\rho_g) = E' - F' T$		
	20	30	40	50	60	70	E'	F'	r <sup>2</sup>
<i>Aceites crudos</i>									
Aguacate	916	911	905	899	891	886	929	0,617	0,996
Sésamo (ajonjolí)	922	915	908	901	895	890	934	0,649	0,996
Algodón	921	913	907	900	892	886	935	0,700	0,998
Chocho (altramuz)	916	909	903	896	890	883	929	0,654	0,999
Ricino (higuerilla)	956	949	943	936	929	923	969	0,663	0,999
Linaza	928	922	915	908	901	894	924	0,686	0,999
Maní	914	908	901	895	887	880	928	0,683	0,998
Maracuyá	921	915	908	901	894	887	935	0,686	0,999
Soja	918	912	907	899	893	886	931	0,643	0,997
<i>Aceites refinados</i>									
Girasol	921	913	907	902	896	889	932	0,617	0,996
Maíz	918	912	906	898	892	887	931	0,637	0,997
Maní	913	908	901	894	887	881	927	0,657	0,998
Oliva	912	907	899	893	886	880	926	0,654	0,998
Soja	920	913	906	899	892	884	934	0,714	0,999
<i>Grasas fundidas</i>									
Cacao			894	886	879	872	923	0,730	0,999
Coco		916	909	903	893	888	938	0,720	0,992
Palma (pulpa)		896	891	883	875	869	918	0,700	0,994
Palma (almendra)		909	903	896	889	882	930	0,680	0,999

\* Valores promedios de dos determinaciones por duplicado. ( $\rho_g$ ) = densidad [kg/m<sup>3</sup>]. T = temperatura [°C].  
r<sup>2</sup> = coeficiente de determinación.

**Fuente:** ALVARADO, Juan de Dios, (2001). Métodos para medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos. Acribia S.A. España.

## ANEXO A7

Valores de viscosidad (mPa.s) en función de la temperatura determinados en aceites y grasas vegetales.

PRODUCTO	TEMPERATURA						$\mu = a_2 - b_2 T + b_3 T^2 - b_4 T^3$				$r^2$
	20	30	40	50	60	70	$a_2$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	
<b>ACEITES CRUDOS</b>											
<i>Aguacate</i>	63,3	46,7	36,5	29,0	20,2	15,1	113,0	3,266	0,043	0,000236	0,998
<i>Sésamo</i>	67,9	48,6	35,1	24,5	19,1	16,0	120,7	3,394	0,034	0,000098	1,000
<i>Algodón</i>	62,2	42,8	30,5	22,5	17,3	12,9	128,7	4,464	0,063	0,000333	1,000
<i>Altramuz</i>	75,6	55,4	35,4	25,5	18,8	13,7	141,1	4,001	0,040	0,000127	0,998
<i>Ricino</i>	763,0	346,0	193,0	116,0	72,0	51,0	2423,0	120,36	2,099	0,012352	0,997
<i>Linaza</i>	47,7	35,2	25,9	20,1	15,9	12,7	88,2	2,618	0,033	0,000155	1,000
<i>Maní</i>	74,2	48,8	34,3	25,7	18,8	13,7	165,1	6,262	0,096	0,000538	1,000
<i>Maracuyá</i>	60,4	41,0	29,4	23,0	17,0	14,1	127,1	4,526	0,066	0,000351	0,999
<i>Soja</i>	63,5	41,9	30,1	22,6	15,7	12,6	135,6	4,894	0,071	0,000381	0,998
<b>ACEITES REFINADOS</b>											
<i>Girasol</i>	71,3	49,1	34,0	25,1	19,9	15,7	148,2	5,113	0,071	0,000352	1,000
<i>Maíz</i>	58,3	47,2	32,8	23,5	17,3	13,2	81,5	0,934	-0,014	0,000194	0,998
<i>Maní</i>	72,9	47,4	38,2	27,2	20,7	16,1	154,6	5,663	0,087	0,000492	0,994
<i>Oliva</i>	83,0	56,3	38,7	27,6	21,6	16,4	179,8	6,428	0,091	0,000465	1,000
<i>Soja</i>	66,9	43,3	30,6	23,3	17,1	13,6	151,1	5,820	0,090	0,000499	0,999
<b>GRASAS FUNDIDAS</b>											
<i>Cacao</i>			45,8	30,7	21,5	17,2	185,2	5,397	0,054	0,000167	1,000
<i>Coco</i>		68,5	49,7	36,7	27,3	20,1	176,5	5,254	0,064	0,000300	1,000
<i>Palma (pulpa)</i>		61,9	40,1	27,6	20,3	15,4	215,6	8,031	0,114	0,000575	1,000
<i>Palma (almendra)</i>		49,1	28,9	20,6	14,5	10,3	216,9	9,330	0,149	0,000833	0,999

**Fuente:** ALVARADO, Juan de Dios, (2001). Métodos para medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos. Acribia S.A. España.



# ANEXO A8

## Propiedades del Agua

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\eta$ (Pa·s)	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$
35	9.75	994	$7.18 \times 10^{-4}$	$7.22 \times 10^{-7}$
40	9.73	992	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$
45	9.71	990	$5.94 \times 10^{-4}$	$6.00 \times 10^{-7}$
50	9.69	988	$5.41 \times 10^{-4}$	$5.48 \times 10^{-7}$
55	9.67	986	$4.98 \times 10^{-4}$	$5.05 \times 10^{-7}$
60	9.65	984	$4.60 \times 10^{-4}$	$4.67 \times 10^{-7}$
65	9.62	981	$4.31 \times 10^{-4}$	$4.39 \times 10^{-7}$
70	9.59	978	$4.02 \times 10^{-4}$	$4.11 \times 10^{-7}$
75	9.56	975	$3.73 \times 10^{-4}$	$3.83 \times 10^{-7}$
80	9.53	971	$3.50 \times 10^{-4}$	$3.60 \times 10^{-7}$
85	9.50	968	$3.30 \times 10^{-4}$	$3.41 \times 10^{-7}$
90	9.47	965	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.22 \times 10^{-7}$
95	9.44	962	$2.92 \times 10^{-4}$	$3.04 \times 10^{-7}$
100	9.40	958	$2.82 \times 10^{-4}$	$2.94 \times 10^{-7}$

**Fuente:** MOTT, Robert, (2006). Mecánica de Fluidos. Pearson. México, México. Pág. 589

# **ANEXO B**

## **ANEXO B1**

NORMA ASTM E8-04 (Standard Test Methods for  
Tension Testing of Metallic Materials)



## Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 8; 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 ( $\epsilon$ ) 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 tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

NOTE 1—A complete metric companion to Test Methods E 8 has been developed, therefore, no metric equivalents are shown in these test methods. Committee E28 was granted an exception in 1997 by the Committee on Standards to maintain E8 and E8M as separate companion standards rather than combining standards as recommended by the Form and Style Manual.

NOTE 2—Gage lengths in these test methods are required to be 4D for most round specimens. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

NOTE 3—Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A 370 and Test Methods B 557.

NOTE 4—Room temperature shall be considered to be 50 to 100°F unless otherwise specified.

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

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

A 356/A 356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved April 1, 2004. Published May 2004. Originally approved in 1924. Last previous edition approved 2003 as E 8 – 03.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

B 557 Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E 8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers

E 208 Test Method for Conducting Drop-Weight Test to Determine Nil-Ductility Transition Temperature of Ferritic Steels

E 345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E 6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods of tension testing. Additional terms being defined are as follows:

3.1.1 *discontinuous yielding*—in a uniaxial test, a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding. (The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.)

3.1.2 *lower yield strength, LYS* [ $FL^{-2}$ ]—in a uniaxial test, the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.3 *upper yield strength, UYS* [ $FL^{-2}$ ]—in a uniaxial test, the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding at or near the onset of plastic deformation.

3.1.4 *yield point elongation, YPE*—in a uniaxial test, the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening. If the

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of inflection. If there is no point at or near the onset of yielding at which the slope reaches zero, the material has 0 % YPE.

3.1.5 *uniform elongation,  $E_{l_u}$ , [%]*—the elongation determined at the maximum force sustained by the test piece just prior to necking or fracture, or both.

3.1.5.1 *Discussion*—Uniform elongation includes both elastic and plastic elongation.

#### 4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments. The test methods have been used extensively in the trade for this purpose.

#### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E 4. The forces used in determining tensile strength and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E 4.

##### 5.2 *Gripping Devices:*

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured force applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gage length, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine. Any departure from this requirement may introduce bending stresses that are not included in the usual stress computation (force divided by cross-sectional area).

NOTE 5—The effect of this eccentric force application may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard ½-in. diameter specimen, the stress increase is 1.5 percentage points for each 0.001 in. of eccentricity. This error increases to 2.24 percentage points/0.001 in. for a 0.350-in. diameter specimen and to 3.17 percentage points/0.001 in. for a 0.250-in. diameter specimen.

NOTE 6—Alignment methods are given in Practice E 1012.

5.2.2 *Wedge Grips*—Testing machines usually are equipped with wedge grips. These wedge grips generally furnish a satisfactory means of gripping long specimens of ductile metal and flat plate test specimens such as those shown in Fig. 1. If, however, for any reason, one grip of a pair advances farther than the other as the grips tighten, an undesirable bending stress may be introduced. When liners are used behind the wedges, they must be of the same thickness and their faces must be flat and parallel. For best results, the wedges should be

supported over their entire lengths by the heads of the testing machine. This requires that liners of several thicknesses be available to cover the range of specimen thickness. For proper gripping, it is desirable that the entire length of the serrated face of each wedge be in contact with the specimen. Proper alignment of wedge grips and liners is illustrated in Fig. 2. For short specimens and for specimens of many materials it is generally necessary to use machined test specimens and to use a special means of gripping to ensure that the specimens, when under load, shall be as nearly as possible in uniformly distributed pure axial tension (see 5.2.3, 5.2.4, and 5.2.5).

5.2.3 *Grips for Threaded and Shouldered Specimens and Brittle Materials*—A schematic diagram of a gripping device for threaded-end specimens is shown in Fig. 3, while Fig. 4 shows a device for gripping specimens with shouldered ends. Both of these gripping devices should be attached to the heads of the testing machine through properly lubricated spherical-seated bearings. The distance between spherical bearings should be as great as feasible.

5.2.4 *Grips for Sheet Materials*—The self-adjusting grips shown in Fig. 5 have proven satisfactory for testing sheet materials that cannot be tested satisfactorily in the usual type of wedge grips.

5.2.5 *Grips for Wire*—Grips of either the wedge or snubbing types as shown in Fig. 5 and Fig. 6 or flat wedge grips may be used.

5.3 *Dimension-Measuring Devices*—Micrometers and other devices used for measuring linear dimensions shall be accurate and precise to at least one half the smallest unit to which the individual dimension is required to be measured.

5.4 *Extensometers*—Extensometers used in tension testing shall conform to the requirements of Practice E 83 for the classifications specified by the procedure section of this test method. Extensometers shall be used and verified to include the strains corresponding to the yield strength and elongation at fracture (if determined).

5.4.1 Extensometers with gage lengths equal to or shorter than the nominal gage length of the specimen (dimension shown as “G-Gage Length” in the accompanying figures) may be used to determine the yield behavior. For specimens without a reduced section (for example, full cross sectional area specimens of wire, rod, or bar), the extensometer gage length for the determination of yield behavior shall not exceed 80 % of the distance between grips. For measuring elongation at fracture with an appropriate extensometer, the gage length of the extensometer shall be equal to the nominal gage length required for the specimen being tested.

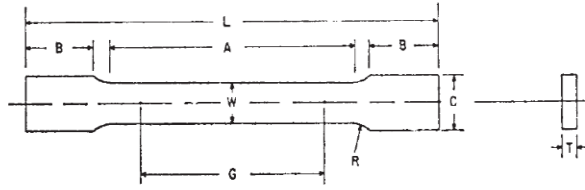
#### 6. Test Specimens

##### 6.1 *General:*

6.1.1 *Specimen Size*—Test specimens shall be either substantially full size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

6.1.2 *Location*—Unless otherwise specified, the axis of the test specimen shall be located within the parent material as follows:

6.1.2.1 At the center for products ½ in. or less in thickness, diameter, or distance between flats.



	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	⅜

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 ⅜ in. Maximum thickness of ½-in. and ¼-in. wide specimens shall be ¾ 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 ⅜ 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

6.1.2.2 Midway from the center to the surface for products over 1½ in. in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.3 Specimen Machining—Improperly prepared test specimens often are the reason for unsatisfactory and incorrect test results. It is important, therefore, that care be exercised in the preparation of specimens, particularly in the machining, to maximize precision and minimize bias in test results.

6.1.3.1 The reduced sections of prepared specimens should be free of cold work, notches, chatter marks, grooves, gouges, burrs, rough surfaces or edges, overheating, or any other condition which can deleteriously affect the properties to be measured.

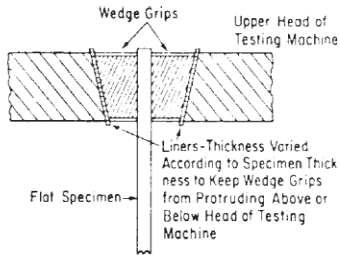


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

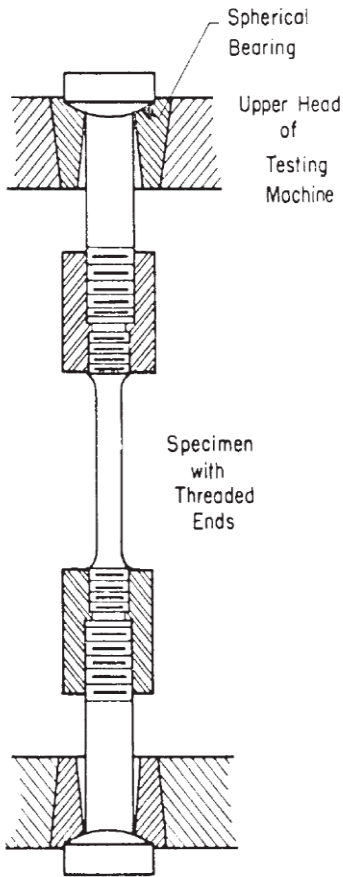


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

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.

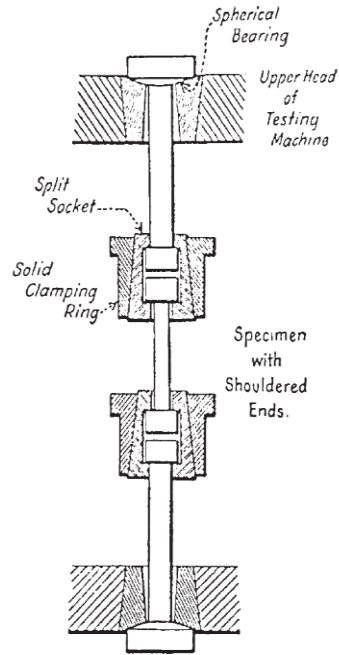


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

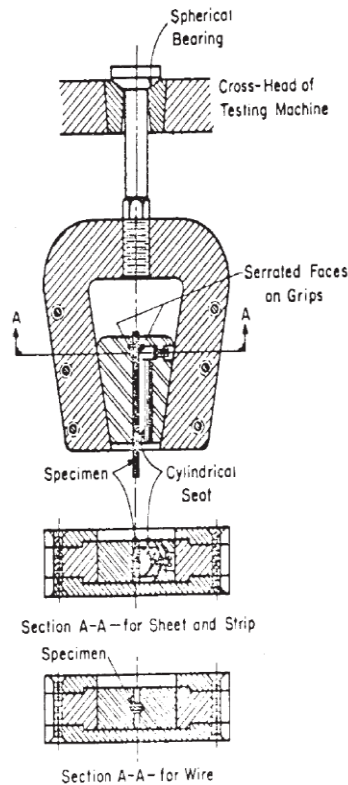


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

6.1.4 *Specimen Surface Finish*—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface

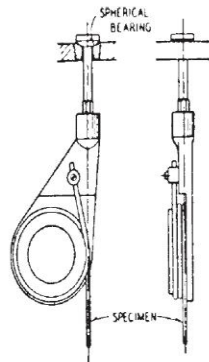


FIG. 6 Snubbing Device for Testing Wire

finish of the test specimens should be as provided in the applicable product specifications.

NOTE 8—Particular attention should be given to the uniformity and quality of surface finish of specimens for high strength and very low ductility materials since this has been shown to be a factor in the variability of test results.

6.2 *Plate-Type Specimens*—The standard plate-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of plate, shapes, and flat material having a nominal thickness of  $\frac{3}{16}$  in. or over. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.3, 6.4, and 6.5.

6.3 *Sheet-Type Specimens*:

6.3.1 The standard sheet-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the

form of sheet, plate, flat wire, strip, band, hoop, rectangles, and shapes ranging in nominal thickness from 0.005 to  $\frac{3}{4}$  in. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.2, 6.4, and 6.5.

NOTE 9—Test Methods E 345 may be used for tension testing of materials in thicknesses up to 0.0059 in.

6.3.2 Pin ends as shown in Fig. 7 may be used. In order to avoid buckling in tests of thin and high-strength materials, it may be necessary to use stiffening plates at the grip ends.

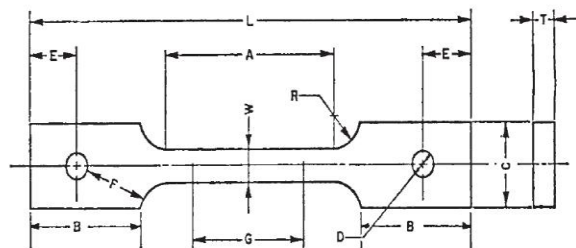
6.4 *Round Specimens*:

6.4.1 The standard 0.500-in. diameter round test specimen shown in Fig. 8 is used quite generally for testing metallic materials, both cast and wrought.

6.4.2 Fig. 8 also shows small-size specimens proportional to the standard specimen. These may be used when it is necessary to test material from which the standard specimen or specimens shown in Fig. 1 cannot be prepared. Other sizes of small round specimens may be used. In any such small-size specimen it is important that the gage length for measurement of elongation be four times the diameter of the specimen.

6.4.3 The shape of the ends of the specimen outside of the gage length shall be suitable to the material and of a shape to fit the holders or grips of the testing machine so that the forces may be applied axially. Fig. 9 shows specimens with various types of ends that have given satisfactory results.

6.5 *Specimens for Sheet, Strip, Flat Wire, and Plate*—In testing sheet, strip, flat wire, and plate, use a specimen type appropriate for the nominal thickness of the material, as described in the following:



Dimensions	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005
W—Width (Note 1)	0.500 ± 0.010
T—Thickness, max (Note 2)	$\frac{5}{8}$
R—Radius of fillet, min (Note 3)	$\frac{1}{2}$
L—Over-all length, min	8
A—Length of reduced section, min	$\frac{2}{4}$
B—Length of grip section, min	2
C—Width of grip section, approximate	2
D—Diameter of hole for pin, min (Note 4)	$\frac{1}{2}$
E—Edge distance from pin, approximate	$1\frac{1}{2}$
F—Distance from hole to fillet, min	$\frac{1}{2}$

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.002 in. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 0.005 in. greater than the width at the center.

NOTE 2—The dimension *T* is the thickness of the test specimen as stated in the applicable product specifications.

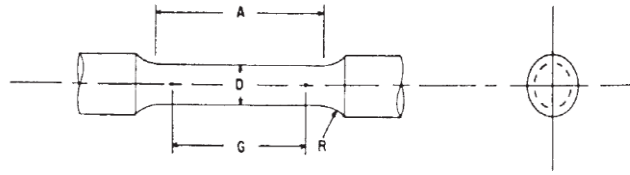
NOTE 3—For some materials, a fillet radius *R* larger than  $\frac{1}{2}$  in. may be needed.

NOTE 4—Holes must be on center line of reduced section, within ±0.002 in.

NOTE 5—Variations of dimensions *C*, *D*, *E*, *F*, and *L* may be used that will permit failure within the gage length.

FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length

ASTM E 8 - 04



	Dimensions				
	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	in.	in.	in.	in.	in.
Nominal Diameter	0.500	0.350	0.250	0.160	0.113
G—Gage length	$2.000 \pm 0.005$	$1.400 \pm 0.005$	$1.000 \pm 0.005$	$0.640 \pm 0.005$	$0.450 \pm 0.005$
D—Diameter (Note 1)	$0.500 \pm 0.010$	$0.350 \pm 0.007$	$0.250 \pm 0.005$	$0.160 \pm 0.003$	$0.113 \pm 0.002$
R—Radius of fillet, min	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{3}{32}$
A—Length of reduced section, min (Note 2)	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

NOTE 3—The gage length and fillets may be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gage lengths are equal to four times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but unless the 4-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

NOTE 5—The use of specimens smaller than 0.250-in. diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

NOTE 6—Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross-sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.<sup>2</sup>, respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these five diameters do not result in correspondingly convenient cross-sectional areas and multiplying factors.)

**FIG. 8 Standard 0.500-in. Round Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen**

6.5.1 For material with a nominal thickness of 0.0005-0.1875 in., use the sheet-type specimen described in 6.3.

6.5.2 For material with a nominal thickness of 0.1875-0.500 in., use either the sheet-type specimen of 6.3 or the plate-type specimen of 6.2.

6.5.3 For material with a nominal thickness of 0.500-0.750 in., use either the sheet-type specimen of 6.3, the plate-type specimen of 6.2, or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4 For material with a nominal thickness of 0.750 in., or greater, use the plate-type specimen of paragraph 6.2 or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4.1 If the product specifications permit, material of a thickness of 0.750 in., or greater may be tested using a modified sheet-type specimen conforming to the configuration shown by Fig. 2. The thickness of this modified specimen must be machined to 0.400 +/- 0.020 in., and must be uniform within 0.004 in. throughout the reduced section. In the event of disagreement, a round specimen shall be used as the referee specimen.

**6.6 Specimens for Wire, Rod, and Bar:**

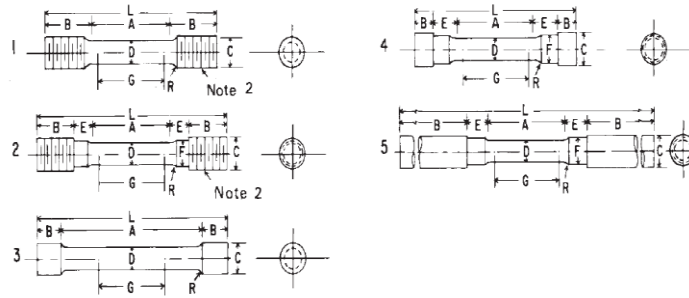
6.6.1 For round wire, rod, and bar, test specimens having the full cross-sectional area of the wire, rod, or bar shall be used wherever practicable. The gage length for the measurement of elongation of wire less than 1/8 in. in diameter shall be as

prescribed in product specifications. In testing wire, rod, or bar that has a 1/8-in. or larger diameter, unless otherwise specified, a gage length equal to four times the diameter shall be used. The total length of the specimens shall be at least equal to the gage length plus the length of material required for the full use of the grips employed.

6.6.2 For wire of octagonal, hexagonal, or square cross section, for rod or bar of round cross section where the specimen required in 6.6.1 is not practicable, and for rod or bar of octagonal, hexagonal, or square cross section, one of the following types of specimens shall be used:

6.6.2.1 *Full Cross Section* (Note 10)—It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gage marks. For material not exceeding 0.188 in. in diameter or distance between flats, the cross-sectional area may be reduced to not less than 90 % of the original area without changing the shape of the cross section. For material over 0.188 in. in diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.010 in. without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 0.188 in. between flats may be turned to a round having a cross-sectional area not smaller than 90 % of the area of the maximum inscribed circle. Fillets, preferably with a radius of 3/8 in., but





	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.	in.	in.	in.	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	3/8	3/8	1/16	3/8	3/8
A—Length of reduced section	2 1/4, min	2 1/4, min	4, approximately	2 1/4, min	2 1/4, min
L—Over-all length, approximate	5	5 1/2	5 1/2	4 3/4	9 1/2
B—Length of end section (Note 3)	1 3/8, approximately	1, approximately	3/4, approximately	1/2, approximately	3, min
C—Diameter of end section	3/4	3/4	2 3/32	7/8	3/4
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	...	5/8	...	3/4	5/8
F—Diameter of shoulder	...	5/8	...	5/8	1 9/32

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.005 in. larger in diameter than the center.

NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.

NOTE 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

not less than 1/8 in., shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 0.188 in. between flats may be turned to a round having a diameter no smaller than 0.010 in. less than the original distance between flats.

NOTE 10—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened surfaces are parallel and that the two parallel surfaces on the same side of the axis of the test specimen lie in the same plane.

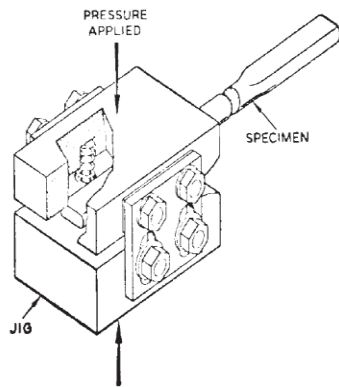


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens

6.6.2.2 For rod and bar, the largest practical size of round specimen as described in 6.4 may be used in place of a test specimen of full cross section. Unless otherwise specified in the product specification, specimens shall be parallel to the direction of rolling or extrusion.

6.7 Specimens for Rectangular Bar— In testing rectangular bar one of the following types of specimens shall be used:

6.7.1 Full Cross Section—It is permissible to reduce the width of the specimen throughout the test section with abrasive cloth or paper, or by machining sufficiently to facilitate fracture within the gage marks, but in no case shall the reduced width be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced section not less than 3/4 in. in length shall be parallel to each other and to the longitudinal axis of the specimen within 0.002 in. Fillets, preferably with a radius of 3/8 in. but not less than 1/8 in. shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bar of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be machined or cut and smoothed to ensure failure within the desired section. The reduced width shall be not less than the original bar thickness. Also, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 may be used.

6.8 Shapes, Structural and Other—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 Specimens for Pipe and Tube (Note 11):

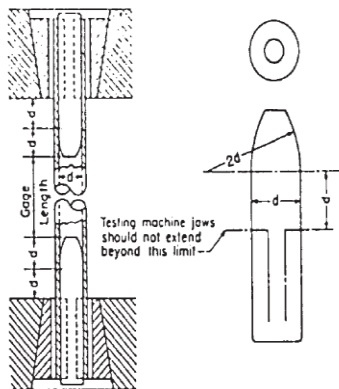
6.9.1 For all small tube (Note 11), particularly sizes 1 in. and under in nominal outside diameter, and frequently for larger sizes, except as limited by the testing equipment, it is standard practice to use tension test specimens of full-size tubular sections. Snug-fitting metal plugs shall be inserted far enough into the ends of such tubular specimens to permit the testing machine jaws to grip the specimens properly. The plugs shall not extend into that part of the specimen on which the elongation is measured. Elongation is measured over a length of 4D unless otherwise stated in the product specification. Fig. 11 shows a suitable form of plug, the location of the plugs in the specimen, and the location of the grips in the grips of the testing machine.

NOTE 11—The term “tube” is used to indicate tubular products in general, and includes pipe, tube, and tubing.

6.9.2 For large-diameter tube that cannot be tested in full section, longitudinal tension test specimens shall be cut as indicated in Fig. 12. Specimens from welded tube shall be located approximately 90° from the weld. If the tube-wall thickness is under 3/4 in., either a specimen of the form and dimensions shown in Fig. 13 or one of the small-size specimens proportional to the standard 1/2-in. specimen, as mentioned in 6.4.2 and shown in Fig. 8, shall be used. Specimens of the type shown in Fig. 13 may be tested with grips having a surface contour corresponding to the curvature of the tube. When grips with curved faces are not available, the ends of the specimens may be flattened without heating. If the tube-wall thickness is 3/4 in. or over, the standard specimen shown in Fig. 8 shall be used.

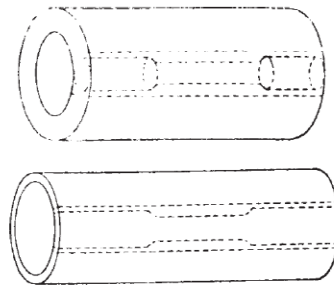
NOTE 12—In clamping of specimens from pipe and tube (as may be done during machining) or in flattening specimen ends (for gripping), care must be taken so as not to subject the reduced section to any deformation or cold work, as this would alter the mechanical properties.

6.9.3 Transverse tension test specimens for tube may be taken from rings cut from the ends of the tube as shown in Fig. 14. Flattening of the specimen may be either after separating as in A, or before separating as in B. Transverse tension test



NOTE 1—The diameter of the plug shall have a slight taper from the line limiting the test machine jaws to the curved section.

FIG. 11 Metal Plugs for Testing Tubular Specimens, Proper Location of Plugs in Specimen and of Specimen in Heads of Testing Machine



NOTE 1—The edges of the blank for the specimen shall be cut parallel to each other.

FIG. 12 Location from Which Longitudinal Tension Test Specimens Are to be Cut from Large-Diameter Tube

specimens for large tube under 3/4 in. in wall thickness shall be either of the small-size specimens shown in Fig. 8 or of the form and dimensions shown for Specimen 2 in Fig. 13. When using the latter specimen, either or both surfaces of the specimen may be machined to secure a uniform thickness, provided not more than 15 % of the normal wall thickness is removed from each surface. For large tube 3/4 in. and over in wall thickness, the standard specimen shown in Fig. 8 shall be used for transverse tension tests. Specimens for transverse tension tests on large welded tube to determine the strength of welds shall be located perpendicular to the welded seams, with the welds at about the middle of their lengths.

6.10 Specimens for Forgings—For testing forgings, the largest round specimen described in 6.4 shall be used. If round specimens are not feasible, then the largest specimen described in 6.5 shall be used.

6.10.1 For forgings, specimens shall be taken as provided in the applicable product specifications, either from the predominant or thickest part of the forging from which a coupon can be obtained, or from a prolongation of the forging, or from separately forged coupons representative of the forging. When not otherwise specified, the axis of the specimen shall be parallel to the direction of grain flow.

6.11 Specimens for Castings—In testing castings either the standard specimen shown in Fig. 8 or the specimen shown in Fig. 15 shall be used unless otherwise provided in the product specifications.

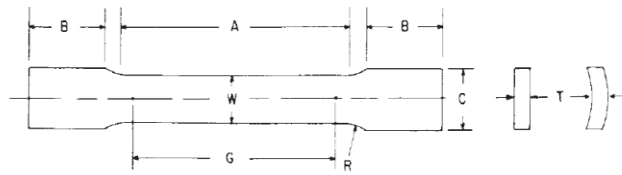
6.11.1 Test coupons for castings shall be made as shown in Fig. 16 and Table 1.

6.12 Specimen for Malleable Iron—For testing malleable iron the test specimen shown in Fig. 17 shall be used, unless otherwise provided in the product specifications.

6.13 Specimen for Die Castings—For testing die castings the test specimen shown in Fig. 18 shall be used unless otherwise provided in the product specifications.

6.14 Specimens for Powder Metallurgy (P/M) Materials—For testing powder metallurgy (P/M) materials the test specimens shown in Fig. 19 and Fig. 20 shall be used, unless otherwise provided in the product specifications. When making test specimens in accordance with Fig. 19, shallow transverse grooves, or ridges, may be pressed in the ends to allow gripping by jaws machined to fit the grooves or ridges. Because of shape and other factors, the flat unmachined tensile test

**E 8 - 04**



	Dimensions						
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	Specimen 6	Specimen 7
	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.005	4.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	4.000 ± 0.005
W—Width (Note 1)	0.500 ± 0.010	1½ + ⅙ - ¼	1½ + ⅙ - ¼	0.750 ± 0.031	0.750 ± 0.031	1.000 ± 0.062	1.000 ± 0.062
T—Thickness	measured thickness of specimen						
R—Radius of fillet, min	½	1	1	1	1	1	1
A—Length of reduced section, min	2¼	2¼	9	2¼	4½	2¼	½
B—Length of grip section, min (Note 2)	3	3	3	3	3	3	3
C—Width of grip section, approximate (Note 3)	1⅙	2	2	1	1	1½	1½

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.002 in. for specimens 1 and 4, and not more than 0.005 in. for specimens 2, 3, 5, 6, and 7. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 0.005 in. greater than the width at the center for 2-in. gage length specimens, not more than 0.008 in. greater than the width at the center for 4-in. gage length specimens, and not more than 0.015 in. greater than the width at the center for 8-in. gage length specimens.

NOTE 2—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 3—The ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.05 in. for specimens 1, 4, and 5, and 0.10 in. for specimens 2, 3, 6, and 7.

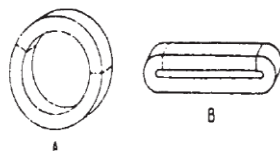
NOTE 4—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 0.05 in., and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.10 in.

NOTE 5—For circular segments, the cross-sectional area may be calculated by multiplying  $W$  and  $T$ . If the ratio of the dimension  $W$  to the diameter of the tubular section is larger than about ⅙, the error in using this method to calculate the cross-sectional area may be appreciable. In this case, the exact equation (see section 7.2.3) must be used to determine the area.

NOTE 6—Specimens with  $G/W$  less than 4 should not be used for determination of elongation.

NOTE 7—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. 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. 13 Tension Test Specimens for Large-Diameter Tubular Products**



**FIG. 14 Location of Transverse Tension Test Specimen in Ring Cut from Tubular Products**

specimen (Fig. 19) in the heat treated condition will have an ultimate tensile strength of 50 % to 85 % of that determined in a machined round tensile test specimen (Fig. 20) of like composition and processing.

## 7. Procedures

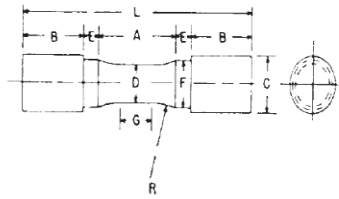
7.1 *Preparation of the Test Machine*— Upon startup, or following a prolonged period of machine inactivity, the test machine should be exercised or warmed up to normal operating temperatures to minimize errors that may result from transient conditions.

## 7.2 Measurement of Dimensions of Test Specimens:

7.2.1 To determine the cross-sectional area of a test specimen, measure the dimensions of the cross section at the center of the reduced section. For referee testing of specimens under ⅜ in. in their least dimension, measure the dimensions where the least cross-sectional area is found. Measure and record the cross-sectional dimensions of tension test specimens 0.200 in. and over to the nearest 0.001 in.; the cross-sectional dimensions from 0.100 in. but less than 0.200 in., to the nearest 0.0005 in.; the cross-sectional dimensions from 0.020 in. but less than 0.100 in., to the nearest 0.0001 in.; and when practical, the cross-sectional dimensions less than 0.020 in., to at least the nearest 1 % but in all cases to at least the nearest 0.0001 in.

NOTE 13—Accurate and precise measurement of specimen dimensions can be one of the most critical aspects of tension testing, depending on specimen geometry. See Appendix X2 for additional information.

NOTE 14—Rough surfaces due to the manufacturing process such as hot rolling, metallic coating, etc., may lead to inaccuracy of the computed areas greater than the measured dimensions would indicate. Therefore,



	Dimensions		
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3
	in.	in.	in.
G—Length of parallel section	Shall be equal to or greater than diameter <i>D</i>		
<i>D</i> —Diameter	0.500 ± 0.010	0.750 ± 0.015	1.25 ± 0.02
<i>R</i> —Radius of fillet, min	1	1	2
<i>A</i> —Length of reduced section, min	1¼	1½	2¼
<i>L</i> —Over-all length, min	3¾	4	6¾
<i>B</i> —Length of end section, approximate	1	1	1¾
<i>C</i> —Diameter of end section, approximate	¾	1½	1¾
<i>E</i> —Length of shoulder, min	¼	¼	⅝
<i>F</i> —Diameter of shoulder	⅝ ± ¼	1⅞ ± ¼	1⅞ ± ¼

NOTE 1—Note—The reduced section and shoulders (dimensions *A*, *D*, *E*, *F*, *G*, and *R*) shall be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the force can be axial. Commonly the ends are threaded and have the dimensions *B* and *C* given above.

FIG. 15 Standard Tension Test Specimen for Cast Iron

cross-sectional dimensions of test specimens with rough surfaces due to processing may be measured and recorded to the nearest 0.001 in.

NOTE 15—See X2.9 for cautionary information on measurements taken from coated metal products.

7.2.2 Determine the cross-sectional area of a full-size test specimen of uniform but nonsymmetrical cross section by determining the mass of a length not less than 20 times longer than the largest cross-sectional dimension.

7.2.2.1 Determine the weight to the nearest 0.5 % or less.

7.2.2.2 The cross-sectional area is equal to the mass of the specimen divided by the length and divided by the density of the material.

7.2.3 When using specimens of the type shown in Fig. 13 taken from tubes, the cross-sectional area shall be determined as follows:

If  $D/W \leq 6$ :

$$A = [(W/4) \times (D^2 - W^2)^{1/2}] + [(D^2/4) \times \arcsin (W/D)] - [(W/4) \times ((D - 2T)^2 - W^2)^{1/2}] - [((D - 2T)/2)^2 \times \arcsin (W/(D - 2T))] \quad (1)$$

where:

- A* = exact cross-sectional area, in.<sup>2</sup>,
- W* = width of the specimen in the reduced section, in.,
- D* = measured outside diameter of the tube, in., and
- T* = measured wall thickness of the specimen, in.

arcsin values to be in radians

If  $D/W > 6$ , the exact equation or the following equation may be used:

$$A = W \times T \quad (2)$$

where:

- A* = approximate cross-sectional area, in.<sup>2</sup>,
- W* = width of the specimen in the reduced section, in., and
- T* = measured wall thickness of the specimen, in.

NOTE 16—See X2.8 for cautionary information on measurements and calculations for specimens taken from large-diameter tubing.

7.3 Gage Length Marking of Test Specimens:

7.3.1 The gage length for the determination of elongation shall be in accordance with the product specifications for the material being tested. Gage marks shall be stamped lightly with a punch, scribed lightly with dividers or drawn with ink as preferred. For material that is sensitive to the effect of slight notches and for small specimens, the use of layout ink will aid in locating the original gage marks after fracture.

7.3.2 For materials where the specified elongation is 3 % or less, measure the original gage length to the nearest 0.002 in. prior to testing.

7.4 Zeroing of the Testing Machine:

7.4.1 The testing machine shall be set up in such a manner that zero force indication signifies a state of zero force on the specimen. Any force (or preload) imparted by the gripping of the specimen (see Note 17) must be indicated by the force measuring system unless the preload is physically removed prior to testing. Artificial methods of removing the preload on the specimen, such as taring it out by a zero adjust pot or removing it mathematically by software, are prohibited because these would affect the accuracy of the test results.

NOTE 17—Preloads generated by gripping of specimens may be either tensile or compressive in nature and may be the result of such things as:

- grip design
- malfunction of gripping apparatus (sticking, binding, etc.)
- excessive gripping force
- sensitivity of the control loop

NOTE 18—It is the operator's responsibility to verify that an observed preload is acceptable and to ensure that grips operate in a smooth manner. Unless otherwise specified, it is recommended that momentary (dynamic) forces due to gripping not exceed 20 % of the material's nominal yield strength and that static preloads not exceed 10 % of the material's nominal yield strength.

7.5 Gripping of the Test Specimen:

7.5.1 For specimens with reduced sections, gripping of the specimen shall be restricted to the grip section, because gripping in the reduced section or in the fillet can significantly affect test results.

7.6 Speed of Testing:

7.6.1 Speed of testing may be defined in terms of (a) rate of straining of the specimen, (b) rate of stressing of the specimen, (c) rate of separation of the two heads of the testing machine during a test, (d) the elapsed time for completing part or all of the test, or (e) free-running crosshead speed (rate of movement of the crosshead of the testing machine when not under load).

7.6.2 Specifying suitable numerical limits for speed and selection of the method are the responsibilities of the product committees. Suitable limits for speed of testing should be specified for materials for which the differences resulting from the use of different speeds are of such magnitude that the test results are unsatisfactory for determining the acceptability of the material. In such instances, depending upon the material

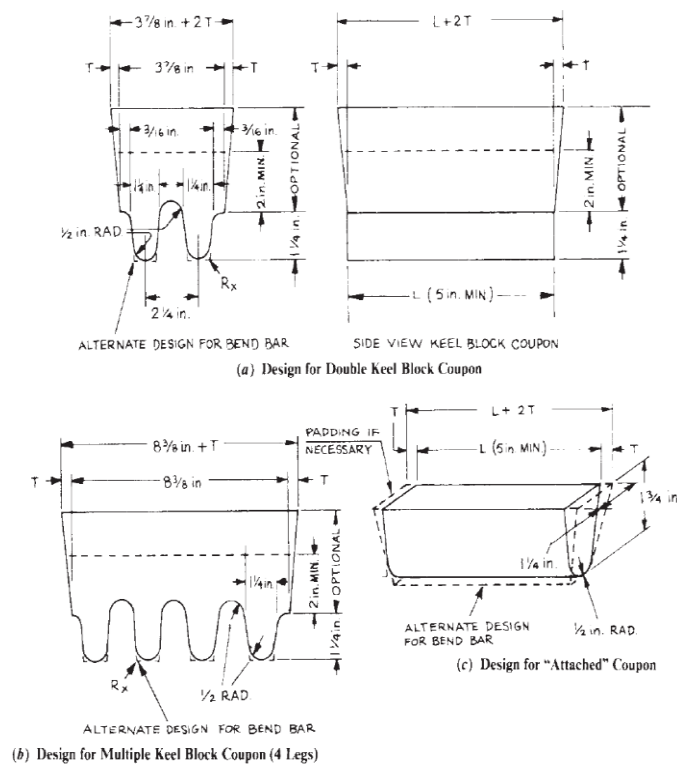


FIG. 16 Test Coupons for Castings (see Table 1 for Details of Design)

TABLE 1 Details of Test Coupon Design for Castings (See Fig. 16)

NOTE 1—*Test Coupons for Large and Heavy Steel Castings:* The test coupons in Fig. 16 are to be used for large and heavy steel castings. However, at the option of the foundry the cross-sectional area and length of the standard coupon may be increased as desired. This provision does not apply to Specification A 356/A 356M.

NOTE 2—*Bend Bar:* If a bend bar is required, an alternate design (as shown by dotted lines in Fig. 16) is indicated.

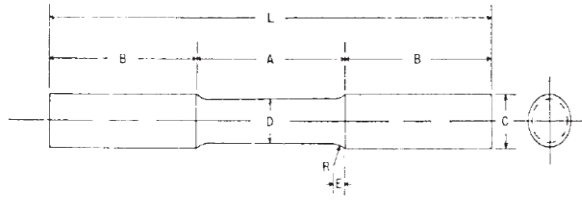
	Log Design (5 in.)		Riser Design
1. L (length)	A 5-in. minimum length will be used. This length may be increased at the option of the foundry to accommodate additional test bars (see Note 1).	1. L (length)	The length of the riser at the base will be the same as the top length of the leg. The length of the riser at the top therefore depends on the amount of taper added to the riser.
2. End taper	Use of and size of end taper is at the option of the foundry.	2. Width	The width of the riser at the base of a multiple-leg coupon shall be $n(2\frac{1}{4} \text{ in.}) - \frac{5}{8} \text{ in.}$ where $n$ equals the number of legs attached to the coupon. The width of the riser at the top is therefore dependent on the amount of taper added to the riser.
3. Height	1 1/4 in.		
4. Width (at top)	1 1/4 in. (see Note 1)		
5. Radius (at bottom)	1/2 in. max		
6. Spacing between legs	A 1/2-in. radius will be used between the legs.		
7. Location of test bars	The tensile, bend, and impact bars will be taken from the lower portion of the leg (see Note 2).		
8. Number of legs	The number of legs attached to the coupon is at the option of the foundry providing they are equispaced according to Item 6.	3. T (riser taper) Height	Use of and size is at the option of the foundry. The minimum height of the riser shall be 2 in. The maximum height is at the option of the foundry for the following reasons: (a) many risers are cast open, (b) different compositions may require variation in risering for soundness, or (c) different pouring temperatures may require variation in risering for soundness.
9. $R_s$	Radius from 0 to approximately 1/16 in.		

and the use for which the test results are intended, one or more of the methods described in the following paragraphs is recommended for specifying speed of testing.

NOTE 19—Speed of testing can affect test values because of the rate sensitivity of materials and the temperature-time effects.

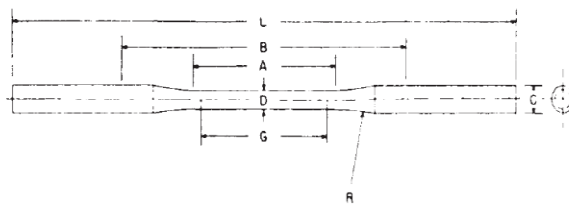
7.6.2.1 *Rate of Straining*—The allowable limits for rate of straining shall be specified in inches per inch per minute. Some testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of rate of straining, but in the absence of such a device the average rate of straining

ASTM E 8 - 04



Dimensions	
D—Diameter	in. 5/8
R—Radius of fillet	5/16
A—Length of reduced section	2 1/2
L—Over-all length	7 1/2
B—Length of end section	2 1/2
C—Diameter of end section	3/4
E—Length of fillet	3/16

**FIG. 17 Standard Tension Test Specimen for Malleable Iron**



Dimensions	
G—Gage length	in. 2.000 ± 0.005
D—Diameter (see Note)	0.250 ± 0.005
R—Radius of fillet, min	3
A—Length of reduced section, min	2 1/4
L—Over-all length, min	9
B—Distance between grips, min	4 1/2
C—Diameter of end section, approximate	3/8

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the end toward the center, with the ends not more than 0.005 in. larger in diameter than the center.

**FIG. 18 Standard Tension Test Specimens for Die Castings**

can be determined with a timing device by observing the time required to effect a known increment of strain.

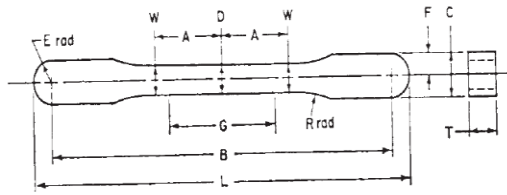
7.6.2.2 *Rate of Stressing*—The allowable limits for rate of stressing shall be specified in pounds per square inch per minute. Many testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of the rate of stressing, but in the absence of such a device the average rate of stressing can be determined with a timing device by observing the time required to apply a known increment of stress.

7.6.2.3 *Rate of Separation of Heads During Tests*—The allowable limits for rate of separation of the heads of the testing machine, during a test, shall be specified in inches per inch of length of reduced section (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per minute. The limits for the rate of separation may be further qualified by specifying different limits for various types and sizes of specimens. Many testing machines are equipped with pacing or indicating

devices for the measurement and control of the rate of separation of the heads of the machine during a test, but in the absence of such a device the average rate of separation of the heads can be experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

7.6.2.4 *Elapsed Time*—The allowable limits for the elapsed time from the beginning of force application (or from some specified stress) to the instant of fracture, to the maximum force, or to some other stated stress, shall be specified in minutes or seconds. The elapsed time can be determined with a timing device.

7.6.2.5 *Free-Running Crosshead Speed*—The allowable limits for the rate of movement of the crosshead of the testing machine, with no force applied by the testing machine, shall be specified in inches per inch of length of reduced section (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per minute. The limits for the crosshead speed may be further qualified by specifying different limits for various types



Pressing Area = 1.00 in.<sup>2</sup>  
 Dimensions Specified, are Those of the Die  
 Pressing Area = 1.00 in.<sup>2</sup>

Dimensions	
	in.
G—Gage length	1.000 ± 0.003
D—Width at center	0.225 ± 0.001
W—Width at end of reduced section	0.235 ± 0.001
T—Compact to this thickness	0.140 to 0.250
R—Radius of fillet	1
A—Half-length of reduced section	5/8
B—Grip length	3.187 ± 0.001
L—Overall length	3.529 ± 0.001
C—Width of grip section	0.343 ± 0.001
F—Half-width of grip section	0.171 ± 0.001
E—End radius	0.171 ± 0.001

NOTE 1—Note—Dimensions Specified, except G and T, are those of the die.

FIG. 19 Standard Flat Unmachined Tension Test Specimens for Powder Metallurgy (P/M) Products

and sizes of specimens. The average crosshead speed can be experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

NOTE 20—For machines not having crossheads or having stationary crossheads, the phrase “free-running crosshead speed” may be interpreted to mean the free-running rate of grip separation.

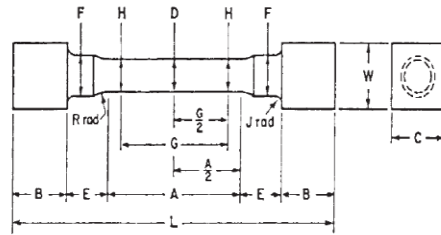
7.6.3 Speed of Testing When Determining Yield Properties—Unless otherwise specified, any convenient speed of testing may be used up to one half the specified yield strength or up to one quarter the specified tensile strength, whichever is smaller. The speed above this point shall be within the limits specified. If different speed limitations are required for use in determining yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area, they should be stated in the product specifications. In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply:

NOTE 21—In the previous and following paragraphs, the yield properties referred to include yield strength and yield point elongation.

7.6.3.1 The speed of testing shall be such that the forces and strains used in obtaining the test results are accurately indicated.

7.6.3.2 When performing a test to determine yield properties, the rate of stress application shall be between 10 000 and 100 000 psi/min.

NOTE 22—When a specimen being tested begins to yield, the stressing rate decreases and may even become negative in the case of a specimen with discontinuous yielding. To maintain a constant stressing rate would require the testing machine to operate at extremely high speeds and, in many cases, this is not practical. The speed of the testing machine shall not



Approximate Pressing Area of Unmachined Compact = 1.166 in.<sup>2</sup>  
 Machining Recommendations

1. Rough machine reduced section to 1/4-in. diameter
2. Finish turn 0.187/0.191-in. diameter with radii and taper
3. Polish with 00 emery cloth
4. Lap with crocus cloth

Dimensions	
	in.
G—Gage length	1.000 ± 0.003
D—Diameter at center of reduced section	0.187 ± 0.001
H—Diameter at ends of gage length	0.191 ± 0.001
R—Radius of fillet	0.250 ± 0.005
A—Length of reduced section	1.875 ± 0.003
L—Overall length (die cavity length)	3, nominal
B—Length of end section	0.310 ± 0.005
C—Compact to this end thickness	0.395 ± 0.005
W—Die cavity width	0.395 ± 0.003
E—Length of shoulder	0.250 ± 0.005
F—Diameter of shoulder	0.310 ± 0.001
J—End fillet radius	0.050 ± 0.005

NOTE 1—The gage length and fillets of the specimen shall be as shown. The ends as shown are designed to provide a practical minimum pressing area. Other end designs are acceptable, and in some cases are required for high-strength sintered materials.

NOTE 2—It is recommended that the test specimen be gripped with a split collet and supported under the shoulders. The radius of the collet support circular edge is to be not less than the end fillet radius of the test specimen.

NOTE 3—Diameters D and H are to be concentric within 0.001 in. total indicator runout (T.I.R.), and free of scratches and tool marks.

FIG. 20 Standard Round Machined Tension Test Specimen for Powder Metallurgy (P/M) Products

be increased in order to maintain a stressing rate when the specimen begins to yield. In practice, it is simpler to use either a strain rate, a rate of separation of the heads, or a free-running crosshead speed which approximates the desired stressing rate. As an example, use a strain rate that is less than 100 000 psi divided by the nominal Young's Modulus of the material being tested. As another example, find a rate of separation of the heads through experimentation which would approximate the desired stressing rate prior to the onset of yielding, and maintain that rate of separation of the heads through the region that yield properties are determined. While both of these methods will provide similar rates of stressing and straining prior to the onset of yielding, the rates of stressing and straining may be different in the region where yield properties are determined. This difference is due to the change in the rate of elastic deformation of the testing machine, before and after the onset of yielding. In addition, the use of any of the methods other than rate of straining may result in different stressing and straining rates when using different testing machines, due to differences in the stiffness of the testing machines used.

7.6.4 Speed of Testing When Determining Tensile Strength—In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply for materials with expected elongations greater than 5 %. When determining only the tensile strength, or after the yield behavior has been

recorded, the speed of the testing machine shall be set between 0.05 and 0.5 in./in. of the length of the reduced section (or distance between the grips for specimens not having a reduced section) per minute. Alternatively, an extensometer and strain rate indicator may be used to set the strain rate between 0.05 and 0.5 in./in./min.

NOTE 23—For materials with expected elongations less than or equal to 5 %, the speed of the testing machine may be maintained throughout the test at the speed used to determine yield properties.

NOTE 24—Tensile strength and elongation are sensitive to test speed for many materials (see Appendix X1) to the extent that variations within the range of test speeds given above can significantly affect results.

7.7 Determination of Yield Strength—Determine yield strength by any of the methods described in 7.7.1 to 7.7.4. Where extensometers are employed, use only those which are verified over a strain range in which the yield strength will be determined (see 5.4).

NOTE 25—For example, a verified strain range of 0.2 % to 2.0 % is appropriate for use in determining the yield strengths of many metals.

NOTE 26—Determination of yield behavior on materials which cannot support an appropriate extensometer (thin wire, for example) is problematic and outside the scope of this standard.

7.7.1 Offset Method—To determine the yield strength by the offset method, it is necessary to secure data (autographic or numerical) from which a stress-strain diagram may be drawn. Then on the stress-strain diagram (Fig. 21) lay off  $Om$  equal to the specified value of the offset, draw  $mn$  parallel to  $OA$ , and thus locate  $r$ , the intersection of  $mn$  with the stress-strain diagram (Note 32). In reporting values of yield strength obtained by this method, the specified value of offset used should be stated in parentheses after the term yield strength. Thus:

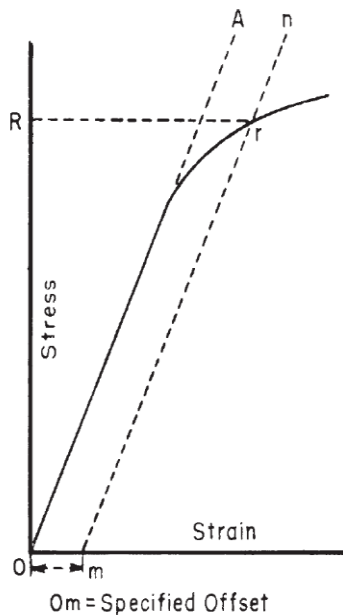


FIG. 21 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Offset Method

$$\text{Yield strength (offset = 0.2 \%)} = 52\,000 \text{ psi} \quad (3)$$

In using this method, a Class B2 or better extensometer (see Practice E 83) shall be used.

NOTE 27—There are two general types of extensometers, averaging and non-averaging, the use of which is dependent on the product tested. For most machined specimens, there are minimal differences. However, for some forgings and tube sections, significant differences in measured yield strength can occur. For these cases, it is recommended that the averaging type be used.

NOTE 28—When there is a disagreement over yield properties, the offset method for determining yield strength is recommended as the referee method.

7.7.2 Extension-Under-Load Method—Yield strength by the extension-under-load method may be determined by: (1) using autographic or numerical devices to secure stress-strain data, and then analyzing this data (graphically or using automated methods) to determine the stress value at the specified value of extension, or (2) using devices that indicate when the specified extension occurs, so that the stress then occurring may be ascertained (Note 30). Any of these devices may be automatic. This method is illustrated in Fig. 22. The stress at the specified extension shall be reported as follows:

$$\text{yield strength (EUL = 0.5 \%)} = 52\,000 \text{ psi} \quad (4)$$

Extensometers and other devices used in determination of the extension shall meet Class B2 requirements (see Practice E 83) at the strain of interest, except where use of low-magnification Class C devices is helpful, such as in facilitating measurement of YPE, if observed. If Class C devices are used, this must be reported along with the results.

NOTE 29—The appropriate value of the total extension must be specified. For steels with nominal yield strengths of less than 80 000 psi, an appropriate value is 0.005 in./in. (0.5 %) of the gage length. For higher strength steels, a greater extension or the offset method should be used.

NOTE 30—When no other means of measuring elongation are available, a pair of dividers or similar device can be used to determine a point of detectable elongation between two gage marks on the specimen. The gage

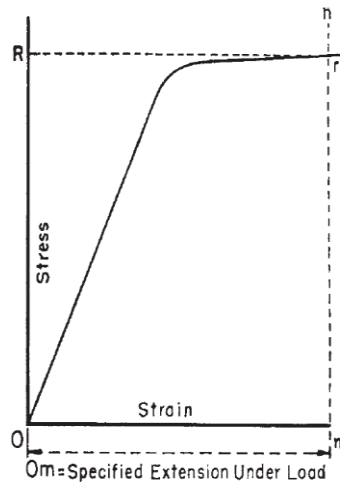


FIG. 22 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Extension-Under-Load Method



length shall be 2 in. The stress corresponding to the load at the instant of detectable elongation may be recorded as the *approximate* extension-under-load yield strength.

7.7.3 *Autographic Diagram Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)*—Obtain stress-strain (or force/elongation) data or construct a stress-strain (or load-elongation) diagram using an autographic device. Determine the upper or lower yield strength as follows:

7.7.3.1 Record the stress corresponding to the maximum force at the onset of discontinuous yielding as the upper yield strength. This is illustrated in Fig. 23 and Fig. 24.

NOTE 31—If multiple peaks are observed at the onset of discontinuous yielding, the first is considered the upper yield strength. (See Fig. 24.)

7.7.3.2 Record the minimum stress observed during discontinuous yielding (ignoring transient effects) as the lower yield strength. This is illustrated in Fig. 24.

NOTE 32—Yield properties of materials exhibiting yield point elongation are often less repeatable and less reproducible than those of similar materials having no YPE. Offset and EUL yield strengths may be significantly affected by force fluctuations occurring in the region where the offset or extension intersects the stress-strain curve. Determination of upper or lower yield strengths (or both) may therefore be preferable for such materials, although these properties are dependent on variables such as test machine stiffness and alignment. Speed of testing may also have a significant effect, regardless of the method employed.

NOTE 33—Where low-magnification autographic recordings are needed to facilitate measurement of yield point elongation for materials which may exhibit discontinuous yielding, Class C extensometers may be employed. When this is done but the material exhibits no discontinuous yielding, the extension-under-load yield strength may be determined instead, using the autographic recording (see Extension-Under-Load Method).

7.7.4 *Halt-of-the-Force Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)*—Apply an increasing force to the

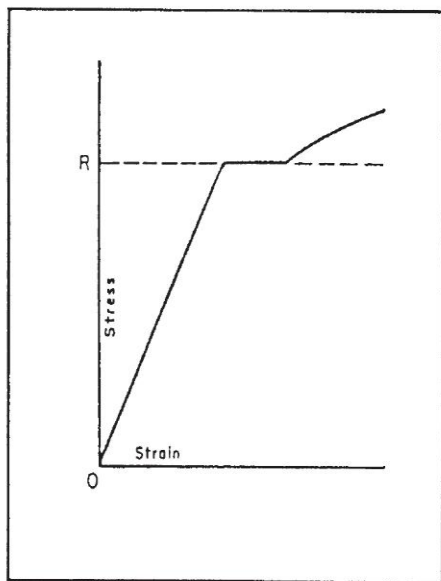


FIG. 23 Stress-Strain Diagram Showing Upper Yield Strength Corresponding with Top of Knee

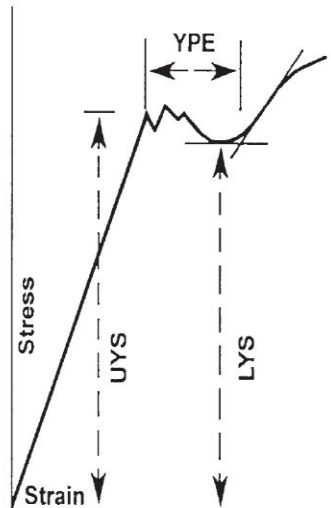


FIG. 24 Stress-Strain Diagram Showing Yield Point Elongation and Upper and Lower Yield Strengths

specimen at a uniform deformation rate. When the force hesitates, record the corresponding stress as the upper yield strength.

NOTE 34—The Halt-of-the-Force Method was formerly known as the Halt-of-the-Pointer Method, the Drop-of-the-Beam Method, and the Halt-of-the-Load Method.

7.8 *Yield Point Elongation*—Calculate the yield point elongation from the stress-strain diagram or data by determining the difference in strain between the upper yield strength (first zero slope) and the onset of uniform strain hardening (see definition of YPE and Fig. 24).

NOTE 35—The stress-strain curve of a material exhibiting only a hint of the behavior causing YPE may have an inflection at the onset of yielding with no point where the slope reaches zero (Fig. 25). Such a material has no YPE, but may be characterized as exhibiting an *inflection*. Materials exhibiting inflections, like those with measurable YPE, may in certain applications acquire an unacceptable surface appearance during forming.

7.9 *Uniform Elongation (if required)*:

7.9.1 Uniform elongation shall include both plastic and elastic elongation.

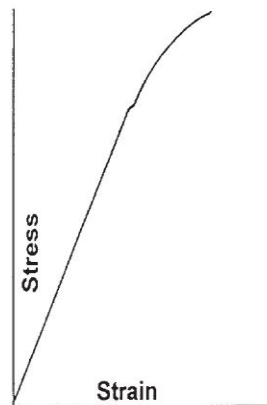


FIG. 25 Stress-Strain Diagram With an Inflection, But No YPE

7.9.2 Uniform elongation shall be determined using autographic methods with extensometers conforming to Practice E 83. Use a class B2 or better extensometer for materials having a uniform elongation less than 5 %. Use a class C or better extensometer for materials having a uniform elongation greater than or equal to 5 % but less than 50 %. Use a class D or better extensometer for materials having a uniform elongation of 50 % or greater.

7.9.3 Determine the uniform elongation as the elongation at the point of maximum force from the force elongation data collected during a test.

7.9.3.1 Some materials exhibit a yield point followed by considerable elongation where the yield point is the maximum force achieved during the test. In this case, uniform elongation is not determined at the yield point, but instead at the highest force occurring just prior to necking (see Fig. 26).

7.9.3.2 Stress-strain curves for some materials exhibit a lengthy, plateau-like region in the vicinity of the maximum force. For such materials, determine the uniform elongation at the center of the plateau as indicated in Fig. 27 (see also Note 36 below).

NOTE 36—When uniform elongation is being determined digitally, noise in the stress-strain data generally causes many small, local peaks and valleys to be recorded in the plateau region. To accommodate this, the following procedure is recommended:

- Determine the maximum force recorded (after discontinuous yielding).
- Evaluate the sequence of force values recorded before and after the

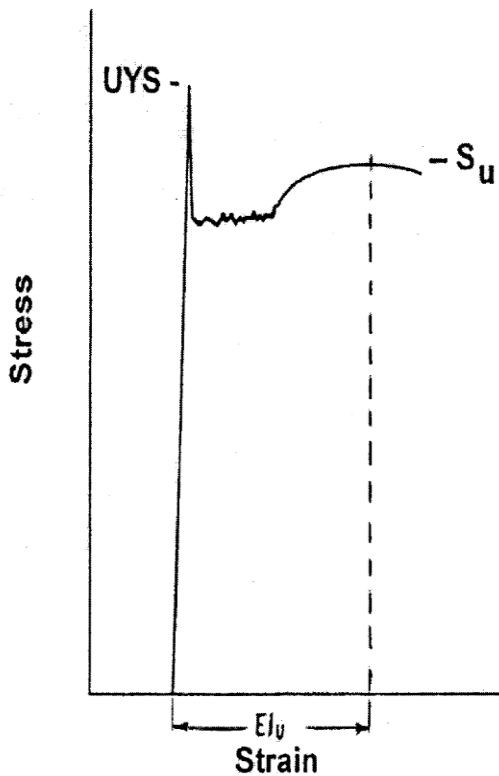


FIG. 26 Stress-Strain Diagram in Which the Upper Yield Strength is the Maximum Stress Recorded

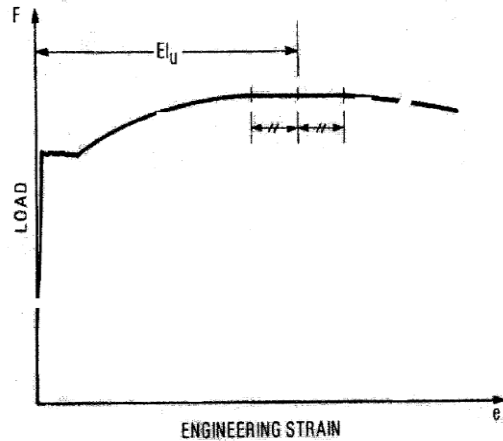


FIG. 27 Load-Strain Diagram for Determination of Uniform Elongation of Steel Sheet Materials Exhibiting a Plateau at Maximum Load

maximum force.

- Digitally define the "plateau" as consisting of all consecutive data points wherein the force value is within 0.5% of the magnitude of the peak force value.

- Determine the uniform elongation as the strain at the mid-point of the "plateau."

7.9.4 Discussion—The 0.5% value of Note 36 has been selected arbitrarily. In actual practice, the value should be selected so as to be the minimum figure that is large enough to effectively define the force plateau. This may require that the percentage be about 5 times the amplitude of the force fluctuations occurring due to noise. Values ranging from 0.1% to 1.0 % may be found to work acceptably.

7.10 Tensile Strength—Calculate the tensile strength by dividing the maximum force carried by the specimen during the tension test by the original cross-sectional area of the specimen.

NOTE 37—If the upper yield strength is the maximum stress recorded, and if the stress-strain curve resembles that of Fig. 26, it is recommended that the maximum stress after discontinuous yielding be reported as the tensile strength. Where this may occur, determination of the tensile strength should be in accordance with the agreement between the parties involved.

7.11 Elongation:

7.11.1 In reporting values of elongation, give both the original gage length and the percentage increase. If any device other than an extensometer is placed in contact with the specimen's reduced section during the test, this also shall be noted.

Example: elongation = 30 % increase (2-in. gage length) (5)

NOTE 38—Elongation results are very sensitive to variables such as: (a) speed of testing, (b) specimen geometry (gage length, diameter, width, and thickness), (c) heat dissipation (through grips, extensometers, or other devices in contact with the reduced section), (d) surface finish in reduced section (especially burrs or notches), (e) alignment, and (f) fillets and tapers. Parties involved in comparison or conformance testing should standardize the above items, and it is recommended that use of ancillary devices (such as extensometer supports) which may remove heat from

specimens be avoided. See Appendix X1. for additional information on the effects of these variables.

7.11.2 When the specified elongation is greater than 3 %, fit ends of the fractured specimen together carefully and measure the distance between the gage marks to the nearest 0.01 in. for gage lengths of 2 in. and under, and to at least the nearest 0.5 % of the gage length for gage lengths over 2 in. A percentage scale reading to 0.5 % of the gage length may be used.

7.11.3 When the *specified* elongation is 3 % or less, determine the elongation of the specimen using the following procedure, except that the procedure given in 7.11.2 may be used instead when the *measured* elongation is greater than 3 %.

7.11.3.1 Prior to testing, measure the original gage length of the specimen to the nearest 0.002 in.

7.11.3.2 Remove partly torn fragments that will interfere with fitting together the ends of the fractured specimen or with making the final measurement.

7.11.3.3 Fit the fractured ends together with matched surfaces and apply a force along the axis of the specimen sufficient to close the fractured ends together. If desired, this force may then be removed carefully, provided the specimen remains intact.

NOTE 39—The use of a force of approximately 2000 psi has been found to give satisfactory results on test specimens of aluminum alloy.

7.11.3.4 Measure the final gage length to the nearest 0.002 in. and report the elongation to the nearest 0.2 %.

7.11.4 Elongation measured per paragraph 7.11.2 or 7.11.3 may be affected by location of the fracture, relative to the marked gage length. If any part of the fracture occurs outside the gage marks or is located less than 25 % of the elongated gage length from either gage mark, the elongation value obtained using that pair of gage marks may be abnormally low and non-representative of the material. If such an elongation measure is obtained in acceptance testing involving only a minimum requirement and meets the requirement, no further testing need be done. Otherwise, discard the test and retest the material.

7.11.5 Elongation at fracture is defined as the elongation measured just prior to the sudden decrease in force associated with fracture. For many ductile materials not exhibiting a sudden decrease in force, the elongation at fracture can be taken as the strain measured just prior to when the force falls below 10 % of the maximum force encountered during the test.

7.11.5.1 Elongation at fracture shall include elastic and plastic elongation and may be determined with autographic or automated methods using extensometers verified over the strain range of interest (see 5.4). Use a class B2 or better extensometer for materials having less than 5 % elongation, a class C or better extensometer for materials having elongation greater than or equal to 5 % but less than 50 %, and a class D or better extensometer for materials having 50 % or greater elongation. In all cases, the extensometer gage length shall be the nominal gage length required for the specimen being tested. Due to the lack of precision in fitting fractured ends together, the elongation after fracture using the manual methods of the preceding paragraphs may differ from the elongation at fracture determined with extensometers.

7.11.5.2 Percent elongation at fracture may be calculated directly from elongation at fracture data and be reported instead of percent elongation as calculated in paragraphs 7.11.2 to 7.11.3. However, these two parameters are not interchangeable. Use of the elongation at fracture method generally provides more repeatable results.

NOTE 40—When disagreements arise over the percent elongation results, agreement must be reached on which method to use to obtain the results.

#### 7.12 Reduction of Area:

7.12.1 The reduced area used to calculate reduction of area (see 7.12.2 and 7.12.3) shall be the minimum cross section at the location of fracture.

7.12.2 *Specimens with Originally Circular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the reduced diameter to the same accuracy as the original measurement.

NOTE 41—Because of anisotropy, circular cross sections often do not remain circular during straining in tension. The shape is usually elliptical, thus, the area may be calculated by  $\pi \cdot d_1 \cdot d_2 / 4$ , where  $d_1$  and  $d_2$  are the major and minor diameters, respectively.

7.12.3 *Specimens with Original Rectangular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the thickness and width at the minimum cross section to the same accuracy as the original measurements.

NOTE 42—Because of the constraint to deformation that occurs at the corners of rectangular specimens, the dimensions at the center of the original flat surfaces are less than those at the corners. The shapes of these surfaces are often assumed to be parabolic. When this assumption is made, an effective thickness,  $t_e$ , may be calculated as follows:  $(t_1 + 4 t_2 + t_3) / 6$ , where  $t_1$  and  $t_3$  are the thicknesses at the corners, and  $t_2$  is the thickness at mid-width. An effective width may be similarly calculated.

7.12.4 Calculate the reduced area based upon the dimensions determined in 7.12.2 or 7.12.3. The difference between the area thus found and the area of the original cross section expressed as a percentage of the original area is the reduction of area.

7.12.5 If any part of the fracture takes place outside the middle half of the reduced section or in a punched or scribed gage mark within the reduced section, the reduction of area value obtained may not be representative of the material. In acceptance testing, if the reduction of area so calculated meets the minimum requirements specified, no further testing is required, but if the reduction of area is less than the minimum requirements, discard the test results and retest.

7.12.6 Results of measurements of reduction of area shall be rounded using the procedures of Practice E 29 and any specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure, it is recommended that reduction of area test values in the range from 0 to 10 % be rounded to the nearest 0.5 % and test values of 10 % and greater to the nearest 1 %.

7.13 *Rounding Reported Test Data for Yield Strength and Tensile Strength*—Test data should be rounded using the procedures of Practice E 29 and the specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure for rounding the test data, one of the procedures described in the following paragraphs is recommended.

7.13.1 For test values up to 50 000 psi, round to the nearest 100 psi; for test values of 50 000 psi and up to 100 000 psi, round to the nearest 500 psi; for test values of 100 000 psi and greater, round to the nearest 1000 psi.

NOTE 43—For steel products, see Test Methods and Definitions A 370.

7.13.2 For all test values, round to the nearest 100 psi.

NOTE 44—For aluminum- and magnesium-alloy products, see Methods B 557.

7.13.3 For all test values, round to the nearest 500 psi.

7.14 *Replacement of Specimens*—A test specimen may be discarded and a replacement specimen selected from the same lot of material in the following cases:

7.14.1 The original specimen had a poorly machined surface,

7.14.2 The original specimen had the wrong dimensions,

7.14.3 The specimen's properties were changed because of poor machining practice,

7.14.4 The test procedure was incorrect,

7.14.5 The fracture was outside the gage length,

7.14.6 For elongation determinations, the fracture was outside the middle half of the gage length, or

7.14.7 There was a malfunction of the testing equipment.

NOTE 45—The tension specimen is inappropriate for assessing some types of imperfections in a material. Other methods and specimens employing ultrasonics, dye penetrants, radiography, etc., may be considered when flaws such as cracks, flakes, porosity, etc., are revealed during a test and soundness is a condition of acceptance.

## 8. Report

8.1 Test information on materials not covered by a product specification should be reported in accordance with 8.2 or both 8.2 and 8.3.

8.2 Test information to be reported shall include the following when applicable:

8.2.1 Material and sample identification.

8.2.2 Specimen type (see Section 6).

8.2.3 Yield strength and the method used to determine yield strength (see 7.7).

8.2.4 Yield point elongation (see 7.8).

8.2.5 Tensile strength (see 7.10).

8.2.6 Elongation (report original gage length, percentage increase, and method used to determine elongation) (see 7.11).

8.2.7 Reduction of area, if required (see 7.12).

8.3 Test information to be available on request shall include:

8.3.1 Specimen test section dimension(s).

8.3.2 Equation used to calculate cross-sectional area of rectangular specimens taken from large-diameter tubular products.

8.3.3 Speed and method used to determine speed of testing (see 7.6).

8.3.4 Method used for rounding of test results (see 7.13).

8.3.5 Reasons for replacement specimens (see 7.14).

## 9. Precision and Bias

9.1 *Precision*—An interlaboratory test program<sup>3</sup> gave the following values for coefficients of variation for the most commonly measured tensile properties:

	Coefficient of Variation, %				
	Tensile Strength	Yield Strength	Yield Strength	Elongation	Reduction of Area
		Offset = 0.02 %	Offset = 0.2 %	Gage Length = 4 Diameter	
CV % <sub>r</sub>	0.9	2.7	1.4	2.8	2.8
CV % <sub>R</sub>	1.3	4.5	2.3	5.4	4.6

CV %<sub>r</sub> = repeatability coefficient of variation in percent within a laboratory  
 CV %<sub>R</sub> = repeatability coefficient of variation in percent between laboratories

9.1.1 The values shown are the averages from tests on six frequently tested metals, selected to include most of the normal range for each property listed above. When these materials are compared, a large difference in coefficient of variation is found. Therefore, the values above should not be used to judge whether the difference between duplicate tests of a specific material is larger than expected. The values are provided to allow potential users of this test method to assess, in general terms, its usefulness for a proposed application.

9.2 *Bias*—The procedures in Test Methods E 8 for measuring tensile properties have no bias because these properties can be defined only in terms of a test method.

## 10. Keywords

10.1 accuracy; bending stress; discontinuous yielding; drop-of-the-beam; eccentric force application; elastic extension; elongation; extension-under-load; extensometer; force; free-running crosshead speed; gage length; half-of-the force; percent elongation; plastic extension; preload; rate of stressing; rate of straining; reduced section; reduction of area; sensitivity; strain; stress; taring; tensile strength; tension testing; yield point elongation; yield strength

<sup>3</sup> Supporting data can be found in Appendix I and additional data are available from ASTM Headquarters. Request RR: E28-1004.

## APPENDICES

## (Nonmandatory Information)

## XI. FACTORS AFFECTING TENSION TEST RESULTS

X1.1 The precision and bias of tension test strength and ductility measurements depend on strict adherence to the stated test procedure and are influenced by instrumental and material factors, specimen preparation, and measurement/testing errors.

X1.2 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on the homogeneity of the material, and the repeatability of specimen preparation, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

X1.3 Instrumental factors that can affect test results include: the stiffness, damping capacity, natural frequency, and mass of moving parts of the tensile test machine; accuracy of force indication and use of forces within the verified range of the machine; rate of force application, alignment of the test specimen with the applied force, parallelness of the grips, grip pressure, nature of the force control used, appropriateness and calibration of extensometers, heat dissipation (by grips, extensometers, or ancillary devices), and so forth.

X1.4 Material factors that can affect test results include: representativeness and homogeneity of the test material, sampling scheme, and specimen preparation (surface finish, dimensional accuracy, fillets at the ends of the gage length, taper in the gage length, bent specimens, thread quality, and so forth).

X1.4.1 Some materials are very sensitive to the quality of the surface finish of the test specimen (see Note 8) and must be ground to a fine finish, or polished to obtain correct results.

X1.4.2 Test results for specimens with as-cast, as-rolled, as-forged, or other non-machined surface conditions can be affected by the nature of the surface (see Note 14).

X1.4.3 Test specimens taken from appendages to the part or component, such as prolongs or risers, or from separately produced castings (for example, keel blocks) may produce test results that are not representative of the part or component.

X1.4.4 Test specimen dimensions can influence test results. For cylindrical or rectangular specimens, changing the test specimen size generally has a negligible effect on the yield and tensile strength but may influence the upper yield strength, if one is present, and elongation and reduction of area values. Comparison of elongation values determined using different specimens requires that the following ratio be controlled:

$$L_o/(A_o)^{1/2} \quad (X1.1)$$

where:

$L_o$  = original gage length of specimen, and  
 $A_o$  = original cross-sectional area of specimen.

X1.4.4.1 Specimens with smaller  $L_o/(A_o)^{1/2}$  ratios generally give greater elongation and reduction in area values. This is the case for example, when the width or thickness of a rectangular tensile test specimen is increased.

X1.4.4.2 Holding the  $L_o/(A_o)^{1/2}$  ratio constant minimizes, but does not necessarily eliminate, differences. Depending on

material and test conditions, increasing the size of the proportional specimen of Fig. 8 may be found to increase or decrease elongation and reduction in area values somewhat.

X1.4.5 Use of a taper in the gage length, up to the allowed 1 % limit, can result in lower elongation values. Reductions of as much as 15 % have been reported for a 1 % taper.

X1.4.6 Changes in the strain rate can affect the yield strength, tensile strength, and elongation values, especially for materials which are highly strain rate sensitive. In general, the yield strength and tensile strength will increase with increasing strain rate, although the effect on tensile strength is generally less pronounced. Elongation values generally decrease as the strain rate increases.

X1.4.7 Brittle materials require careful specimen preparation, high quality surface finishes, large fillets at the ends of the gage length, oversize threaded grip sections, and cannot tolerate punch or scribe marks as gage length indicators.

X1.4.8 Flattening of tubular products to permit testing does alter the material properties, generally nonuniformly, in the flattened region which may affect test results.

X1.5 Measurement errors that can affect test results include: verification of the test force, extensometers, micrometers, dividers, and other measurement devices, alignment and zeroing of chart recording devices, and so forth.

X1.5.1 Measurement of the dimensions of as-cast, as-rolled, as-forged, and other test specimens with non-machined surfaces may be imprecise due to the irregularity of the surface flatness.

X1.5.2 Materials with anisotropic flow characteristics may exhibit non-circular cross sections after fracture and measurement precision may be affected, as a result (see Note 37).

X1.5.3 The corners of rectangular test specimens are subject to constraint during deformation and the originally flat surfaces may be parabolic in shape after testing which will affect the precision of final cross-sectional area measurements (see Note 42).

X1.5.4 If any portion of the fracture occurs outside of the middle of the gage length, or in a punch or scribe mark within the gage length, the elongation and reduction of area values may not be representative of the material. Wire specimens that break at or within the grips may not produce test results representative of the material.

X1.5.5 Use of specimens with shouldered ends (“button-head” tensiles) will produce lower 0.02 % offset yield strength values than threaded specimens.

X1.6 Because standard reference materials with certified tensile property values are not available, it is not possible to rigorously define the bias of tension tests. However, by the use of carefully designed and controlled interlaboratory studies, a reasonable definition of the precision of tension test results can be obtained.

**TABLE X1.1 Precision Statistics—Tensile Strength, ksi**

NOTE 1—X is the average of the cell averages, that is, the grand mean for the test parameter,  
 $s_r$  is the repeatability standard deviation (within-laboratory precision),  
 $s_r/X$  is the coefficient of variation in %,  
 $s_R$  is the reproducibility standard deviation (between-laboratory precision),  
 $s_R/X$  is the coefficient of variation, %,  
r is the 95 % repeatability limits,  
R is the 95 % reproducibility limits.

Material	X	$s_r$	$s_r/X, \%$	$s_R$	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	25.66	0.63	2.45	0.63	2.45	1.76	1.76
2024-T351	71.26	0.88	1.24	0.96	1.34	2.47	2.68
ASTM A105	86.57	0.60	0.69	1.27	1.47	1.68	3.55
AISI 316	100.75	0.39	0.39	1.22	1.21	1.09	3.39
Inconel 600	99.48	0.42	0.43	0.72	0.72	1.19	2.02
SAE 51410	181.73	0.46	0.25	1.14	0.63	1.29	3.20
		Averages:	0.91		1.30		

**TABLE X1.2 Precision Statistics—0.02 % Yield Strength, ksi**

Material	X	$s_r$	$s_r/X, \%$	$s_R$	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	16.16	0.65	4.00	1.19	7.37	1.81	3.33
2024-T351	51.38	0.84	1.64	0.89	1.73	2.36	2.49
ASTM A105	59.66	1.20	2.02	1.90	3.18	3.37	5.31
AISI 316	48.75	2.42	4.97	4.63	9.49	6.68	12.91
Inconel 600	38.74	0.46	1.18	0.76	1.96	1.28	2.13
SAE 51410	104.90	2.40	2.29	3.17	3.02	6.73	8.88
		Averages:	2.68		4.46		

**TABLE X1.3 Precision Statistics—0.2 % Yield Strength, ksi**

Material	X	$s_r$	$s_r/X, \%$	$s_R$	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	22.98	0.47	2.06	0.48	2.07	1.33	1.33
2024-T351	52.64	0.74	1.41	0.79	1.49	2.08	2.20
ASTM A105	58.36	0.83	1.42	1.44	2.47	2.31	4.03
AISI 316	69.78	0.95	1.36	2.83	4.06	2.63	7.93
Inconel 600	38.91	0.36	0.93	0.85	2.17	1.01	2.37
SAE 51410	140.33	1.29	0.92	2.30	1.64	3.60	6.45
		Averages:	1.35		2.32		

**TABLE X1.4 Precision Statistics—% Elongation in 4D**

NOTE 1—Length of reduced section = 6D.

Material	X	$s_r$	$s_r/X, \%$	$s_R$	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	17.42	0.64	3.69	0.92	5.30	1.80	2.59
2024-T351	19.76	0.58	2.94	1.58	7.99	1.65	4.43
ASTM A105	29.10	0.76	2.62	0.98	3.38	2.13	2.76
AISI 316	40.07	1.10	2.75	2.14	5.35	3.09	6.00
Inconel 600	44.28	0.66	1.50	1.54	3.48	1.86	4.31
SAE 51410	14.48	0.48	3.29	0.99	6.83	1.34	2.77
		Averages:	2.80		5.39		

X1.6.1 An interlaboratory test program<sup>3</sup> was conducted in which six specimens each, of six different materials were prepared and tested by each of six different laboratories. Tables X1.1-X1.5 present the precision statistics, as defined in Practice E 691, for: tensile strength, 0.02 % yield strength, 0.2 % yield strength, % elongation in 4D, and % reduction in area. In each table, the first column lists the six materials tested, the second column lists the average of the average results obtained by the laboratories, the third and fifth columns list the repeatability and reproducibility standard deviations, the fourth and sixth columns list the coefficients of variation for these

standard deviations, and the seventh and eighth columns list the 95 % repeatability and reproducibility limits.

X1.6.2 The averages (below columns four and six in each table) of the coefficients of variation permit a relative comparison of the repeatability (within-laboratory precision) and reproducibility (between-laboratory precision) of the tension test parameters. This shows that the ductility measurements exhibit less repeatability and reproducibility than the strength measurements. The overall ranking from the least to the most repeatable and reproducible is: % elongation in 4D, % reduction in area, 0.02 % offset yield strength, 0.2 % offset yield

**TABLE X1.5 Precision Statistics—% Reduction in Area**

Material	X	s <sub>r</sub>	s <sub>r</sub> /X, %	s <sub>R</sub>	s <sub>R</sub> /X, %	r	R
EC-H19	79.15	1.93	2.43	2.01	2.54	5.44	5.67
2024-T351	30.41	2.09	6.87	3.59	11.79	5.79	10.01
ASTM A105	65.59	0.84	1.28	1.26	1.92	2.35	3.53
AISI 316	71.49	0.99	1.39	1.60	2.25	2.78	4.50
Inconel 600	59.34	0.67	1.14	0.70	1.18	1.89	1.97
SAE 51410	50.49	1.86	3.69	3.95	7.81	5.21	11.05
Averages:			2.80		4.58		

strength, and tensile strength. Note that the rankings are in the same order for the repeatability and reproducibility average coefficients of variation and that the reproducibility (between-laboratory precision) is poorer than the repeatability (within-laboratory precision), as would be expected.

X1.6.3 No comments about bias can be made for the interlaboratory study due to the lack of certified test results for

these specimens. However, examination of the test results showed that one laboratory consistently exhibited higher than average strength values and lower than average ductility values for most of the specimens. One other laboratory had consistently lower than average tensile strength results for all specimens.

## X2. MEASUREMENT OF SPECIMEN DIMENSIONS

X2.1 Measurement of specimen dimensions is critical in tension testing, and it becomes more critical with decreasing specimen size, as a given absolute error becomes a larger relative (percent) error. Measuring devices and procedures should be selected carefully, so as to minimize measurement error and provide good repeatability and reproducibility.

X2.2 Relative measurement error should be kept at or below 1 %, where possible. Ideally, this 1 % error should include not only the resolution of the measuring device but also the variability commonly referred to as repeatability and reproducibility. (Repeatability is the ability of any operator to obtain similar measurements in repeated trials. Reproducibility is the ability of multiple operators to obtain similar measurements.)

X2.3 Formal evaluation of gage repeatability and reproducibility (GR and R) by way of a GR and R study is highly recommended. A GR and R study involves having multiple operators each take two or three measurements of a number of parts—in this case, test specimens. Analysis, usually done by computer, involves comparing the observed measurement variations to a tolerance the procedure is to determine conformance to. High GR and R percentages (more than 20 %) indicate much variability relative to the tolerance, whereas low percentages (10 % or lower) indicate the opposite. The analysis also estimates, independently, the repeatability and reproducibility.

X2.4 GR and R studies in which nontechnical personnel used different brands and models of hand-held micrometers have given results varying from about 10 % (excellent) to nearly 100 % (essentially useless), relative to a dimensional tolerance of 0.003 in. The user is therefore advised to be very careful in selecting devices, setting up measurement procedures, and training personnel.

X2.5 With a 0.003 in. tolerance, a 10 % GR and R result (exceptionally good, even for digital hand-held micrometers

reading to 0.00005 in.) indicates that the total variation due to repeatability and reproducibility is around 0.0003 in. This is less than or equal to 1 % only if all dimensions to be measured are greater than or equal to 0.03 in. The relative error in using this device to measure thickness of a 0.01 in. flat tensile specimen would be 3 %—which is considerably more than that allowed for load or strain measurement.

X2.6 Dimensional measurement errors can be identified as the cause of many *out-of-control* signals, as indicated by statistical process control (SPC) charts used to monitor tension testing procedures. This has been the experience of a production laboratory employing SPC methodology and the best hand-held micrometers available (from a GR and R standpoint) in testing of 0.018 in. to 0.25 in. flat rolled steel products.

X2.7 Factors which affect GR and R, sometimes dramatically, and which should be considered in the selection and evaluation of hardware and procedures include:

- X2.7.1 Resolution,
- X2.7.2 Verification,
- X2.7.3 Zeroing,
- X2.7.4 Type of anvil (flat, rounded, or pointed),
- X2.7.5 Cleanliness of part and anvil surfaces,
- X2.7.6 User-friendliness of measuring device,
- X2.7.7 Stability/temperature variations,
- X2.7.8 Coating removal,
- X2.7.9 Operator technique, and
- X2.7.10 Ratchets or other features used to regulate the clamping force.

X2.8 Flat anvils are generally preferred for measuring the dimensions of round or flat specimens which have relatively smooth surfaces. One exception is that rounded or pointed anvils must be used in measuring the thickness of curved specimens taken from large-diameter tubing (see Fig. 13), to prevent overstating the thickness. (Another concern for these curved specimens is the error that can be introduced through

use of the equation  $A = W \times T$ ; see 7.2.3.)

X2.9 Heavy coatings should generally be removed from at least one grip end of flat specimens taken from coated products to permit accurate measurement of base metal thickness, assuming (a) the base metal properties are what are desired, (b) the coating does not contribute significantly to the strength of the product, and (c) coating removal can be easily accomplished (some coatings may be easily removed by chemical stripping). Otherwise, it may be advisable to leave the coating intact and determine the base metal thickness by an alternate method. Where this issue may arise, all parties involved in comparison or conformance testing should agree as to whether or not coatings are to be removed before measurement.

X2.10 As an example of how the considerations identified

above affect dimensional measurement procedures, consider the case of measuring the thickness of 0.015 in. painted, flat rolled steel specimens. The paint should be removed prior to measurement, if possible. The measurement device used should have flat anvils, must read to 0.0001 in. or better, and must have excellent repeatability and reproducibility. Since GR and R is a significant concern, it will be best to use a device which has a feature for regulating the clamping force used, and devices without digital displays should be avoided to prevent reading errors. Before use of the device, and periodically during use, the anvils should be cleaned, and the device should be verified or zeroed (if an electronic display is used) or both. Finally, personnel should be trained and audited periodically to ensure that the measuring device is being used correctly and consistently by all.

### X3. SUGGESTED ACCREDITATION CRITERIA FOR LABORATORIES PERFORMING TENSILE TESTS

#### X3.1 Scope

X3.1.1 The following are specific features that an assessor may check to assess a laboratory's technical competence, if the laboratory is performing tests in accordance with Test Methods E 8 and/or E 8M.

#### X3.2 Preparation

X3.2.1 The laboratory should follow documented procedures to ensure that machining or other preparation generates specimens conforming to applicable tolerances and requirements of Test Methods E 8 or E 8M. Particularly important are those requirements that pertain to the dimensions and finish of reduced sections, as found in the text and in applicable figures.

X3.2.2 Where gage marks are used, the laboratory should employ documented gage marking procedures to ensure that the marks and gage lengths comply with the tolerances and guidelines of Test Methods E 8 or E 8M.

X3.2.2.1 The gage marking procedure used should not deleteriously affect the test results.

NOTE X3.1—Frequent occurrence of fracturing at the gage marks may indicate that gage marks have excessive depth or sharpness and may be affecting test results.

#### X3.3 Test Equipment

X3.3.1 As specified in the Apparatus sections of Test Methods E 8 and E 8M, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine, in order to minimize bending stresses which could affect the results.

X3.3.2 Equipment verification requirements of Practices E 4 and E 83 shall be met. Documentation showing the verification work to have been thorough and technically correct should be available.

X3.3.2.1 Verification reports shall demonstrate that force and extension readings have been taken at the prescribed intervals and that the prescribed runs have been completed.

X3.3.3 Extensometers used shall meet all requirements of Test Methods E 8 or E 8M as to the classification of device to be used for the results determined. For example, an extensom-

eter not meeting the Class B2 requirements of Practice E 83 may not be used in determination of offset yield strengths.

X3.3.4 Before computerized or automated test equipment is put into routine service, or following a software revision, it is recommended that measures be taken to verify proper operation and result interpretation. Guide E 1856 addresses this concern.

X3.3.5 Micrometers and other devices used in measurement of specimen dimensions should be selected, maintained and used in such a manner as to comply with the appendixes of Test Methods E 8 and E 8M on measurement. Traceability to national standards should be established for these devices, and reasonable effort should be employed to prevent errors greater than 1 % from being generated as a result of measurement error, resolution, and rounding practice.

#### X3.4 Procedures

X3.4.1 The test machine shall be set up and zeroed in such a manner that zero force indication signifies a state of zero force on the specimen, as indicated in the Zeroing of the Test Machine sections of Test Methods E 8 and E 8M.

NOTE X3.2—Provisions should be made to ensure that zero readings are properly maintained, from test to test. These may include, for example, zeroing after a predetermined number of tests or each time, under zero force conditions, the indicator exceeds a predetermined value.

X3.4.2 Upon request, the laboratory should be capable of demonstrating (perhaps through time, force, displacement or extensometer measurements, or both) that the test speeds used conform to the requirements of Test Methods E 8 or E 8M, or other standards which take precedence.

X3.4.3 Upon request, the laboratory should be capable of demonstrating that the offsets and extensions used in determining yield strengths conform to the requirements of Test Methods E 8 or E 8M and are constructed so as to indicate the forces corresponding to the desired offset strain or total strain.

NOTE X3.3—Use caution when performing calculations with extensometer magnification, because the manufacturer may report strain magnification, which relates the strain (not the elongation) to the  $x$ -axis displacement on the stress strain diagram. A user or assessor interested in



an extensometer's magnification may use calibration equipment to determine the ratio between elongation and chart travel or may verify a reported magnification by calculating the Young's modulus from tests of specimens of a known nominal modulus.

X3.4.4 Measurement of elongation shall conform to requirements of Test Methods E 8 or E 8M.

NOTE X3.4—Test Methods E 8 and E 8M permit the measurement and reporting of elongation at fracture in place of elongation, as is often done in automated testing.

X3.4.5 Reduction of area, when required, shall be determined in accordance with the requirements of Test Methods E 8 or E 8M.

X3.4.6 Procedures for recording, calculating, and reporting data and test results shall conform to all applicable requirements of Test Methods E 8 or E 8M. In addition, wherever practical, the procedures should also be in accordance with widely accepted provisions of good laboratory practice, such as those detailed below.

X3.4.6.1 When recording data, personnel should record all figures that are definite, plus the best estimate of the first figure which is uncertain. (If a result is known to be approximately midway between 26 and 27, 26.5 should be the result recorded (not 26, 27, or 26.475).)

X3.4.6.2 When performing calculations, personnel should avoid compounding of rounding errors. This may be accomplished by performing one large calculation, rather than several calculations using individual results. Alternatively, if multi-step calculations are done, intermediate results should not be rounded before use in subsequent calculations.

X3.4.6.3 In rounding, no final result should retain more significant figures than the least-significant-figure measurement or data point used in the calculation.

### X3.5 Retention

X3.5.1 A retention program appropriate for the nature and frequency of testing done in the laboratory should be maintained. Items that may warrant retention for defined time periods include:

- X3.5.1.1 Raw data and forms,
- X3.5.1.2 Force-elongation or stress-strain charts,
- X3.5.1.3 Computer printouts of curves and test results,
- X3.5.1.4 Data and results stored on computer discs or hard drives,

X3.5.1.5 Broken specimens,

X3.5.1.6 Excess material,

X3.5.1.7 Test reports, and

X3.5.1.8 Verification reports and certifications.

### X3.6 Environment

X3.6.1 All test equipment should be located and connected to power sources in such a manner as to minimize the effects of vibrations and electrical disturbances on raw data collected, stress-strain charts, and operation of equipment.

### X3.7 Controls

X3.7.1 Controlled procedures and work instructions should cover all aspects of specimen preparation, tensile testing, and result reporting. These documents should be readily available to all involved in the documented tasks.

X3.7.2 Clear, concise, operating instructions should be maintained for equipment used in specimen preparation and tensile testing. These instructions should be readily available to all qualified operators.

X3.7.3 All applicable verification requirements shall be met, as detailed in X3.3.2.

X3.7.4 It is recommended that special studies and programs be employed to monitor and control tensile testing, because tensile test results are easily affected by operators, measuring devices, and test equipment. Examples of such programs include but are not limited to:

X3.7.4.1 Round-robin studies, proficiency tests, or other cross-checks,

X3.7.4.2 Repeatability and reproducibility (R and R) studies,

X3.7.4.3 Control charting, and

X3.7.4.4 Determination of typical lab uncertainties for each result typically reported.

NOTE X3.5—For nondestructive testing, repeatability and reproducibility are often measured by conducting gage R and R studies, as discussed in Appendix X2 of Test Methods E 8 and E 8M. These studies involve repeated determination of a test result, using a single part or specimen, so gage R and Rs are not directly applicable to mechanical properties, which are obtained through destructive testing. (True differences between even the best duplicate specimens manifest themselves in the form of poorer R and R results than would be obtained for perfect duplicates.) Nevertheless, quasi-R and R studies conducted with these limitations taken into consideration may be helpful in analyzing sources of error and improving reliability of test results.



E 8 – 04

## SUMMARY OF CHANGES

Committee E28 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (E 8M – 03) that may impact the use of this standard. (Approved July 10, 2003)

(1) Section 7.9.3.2 was revised. Note 36 and a discussion were added following this revised section.

Committee E28 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (E 8M – 01) that may impact the use of this standard. (Approved Oct. 10, 2001)

(1) Section 6.5 and its subsections were revised.

(3) Appendix X3 was added.

(2) Note 10 was deleted and the remaining notes were renumbered.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

# **ANEXO B2**

NORMA ASTM E112 (Standard Test Methods for  
Determining Average Grain Size)



## Standard Test Methods for Determining Average Grain Size<sup>1</sup>

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 ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

<sup>ε1</sup> 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

<sup>1</sup> 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.

Report	18
Precision and Bias	19
Keywords	20
Annexes:	
Basis of ASTM Grain Size Numbers	Annex A1
Equations for Conversions Among Various Grain Size Measurements	Annex A2
Austenite Grain Size, Ferritic and Austenitic Steels	Annex A3
Fracture Grain Size Method	Annex A4
Requirements for Wrought Copper and Copper-Base Alloys	Annex A5
Application to Special Situations	Annex A6
Appendixes:	
Results of Interlaboratory Grain Size Determinations	Appendix X1
Referenced Adjuncts	Appendix X2

**2. Referenced Documents**

- 2.1 *ASTM Standards*:
- E 3 Practice for Preparation of Metallographic Specimens<sup>2</sup>
  - E 7 Terminology Relating to Metallography<sup>2</sup>
  - E 407 Practice for Microetching Metals and Alloys<sup>2</sup>
  - E 562 Practice for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count<sup>2</sup>
  - E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>3</sup>
  - E 883 Guide for Reflected-Light Photomicrography<sup>2</sup>
  - E 930 Test Methods for Estimating the Largest Grain Observed in a Metallographic Section (ALA Grain Size)<sup>2</sup>
  - E 1181 Test Methods for Characterizing Duplex Grain Sizes<sup>2</sup>
  - E 1382 Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis<sup>2</sup>
- 2.2 ASTM Adjuncts:
- 2.2.1 For a complete adjunct list, see Appendix X2

**3. Terminology**

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in these test methods, see Terminology E 7.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard*:

3.2.1 *ASTM grain size number*—the ASTM grain size number,  $G$ , was originally defined as:

$$N_{AE} = 2^{G-1} \quad (1)$$

where  $N_{AE}$  is the number of grains per square inch at 100X magnification. To obtain the number per square millimetre at 1X, multiply by 15.50.

3.2.2 *grain*—that area within the confines of the original (primary) boundary observed on the two-dimensional plane-of-polish or that volume enclosed by the original (primary) boundary in the three-dimensional object. In materials containing twin boundaries, the twin boundaries are ignored, that is, the structure on either side of a twin boundary belongs to the grain.

3.2.3 *grain boundary intersection count*—determination of the number of times a test line cuts across, or is tangent to,

grain boundaries (triple point intersections are considered as 1-1/2 intersections).

3.2.4 *grain intercept count*—determination of the number of times a test line cuts through individual grains on the plane of polish (tangent hits are considered as one half an interception test lines that end within a grain are considered as one half an interception).

3.2.5 *intercept length*—the distance between two opposed adjacent grain boundary intersection points on a test line segment that crosses the grain at any location due to random placement of the test line.

3.3 *Symbols: Symbols*:

- $\alpha$  = matrix grains in a two phase (constituent) microstructure.
- $A$  = test area.
- $\bar{A}$  = mean grain cross sectional area.
- $AI_\ell$  = grain elongation ratio or anisotropy index for a longitudinally oriented plane.
- $\bar{D}$  = mean planar grain diameter (Plate III).
- $\bar{D}$  = mean spatial (volumetric) grain diameter.
- $f$  = Jeffries multiplier for planimetric method.
- $G$  = ASTM grain size number.
- $\ell$  = mean lineal intercept length.
- $\bar{\ell}_\alpha$  = mean lineal intercept length of the  $\alpha$  matrix phase in a two phase (constituent) microstructure.
- $\bar{\ell}_\ell$  = mean lineal intercept length on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $\bar{\ell}_t$  = mean lineal intercept length on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $\bar{\ell}_p$  = mean lineal intercept length on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $\ell_0$  = base intercept length of 32.00 mm for defining the relationship between  $G$  and  $\ell$  (and  $N_L$ ) for macroscopically or microscopically determined grain size by the intercept method.
- $L$  = length of a test line.
- $M$  = magnification used.
- $M_b$  = magnification used by a chart picture series.
- $n$  = number of fields measured.
- $N_\alpha$  = number of  $\alpha$  grains intercepted by the test line in a two phase (constituent) microstructure.
- $N_A$  = number of grains per mm<sup>2</sup> at 1X.
- $N_{A\alpha}$  = number of  $\alpha$  grains per mm<sup>2</sup> at 1X in a two phase (constituent) microstructure.
- $N_{AE}$  = number of grains per inch<sup>2</sup> at 100X.
- $N_{A\ell}$  =  $N_A$  on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $N_{At}$  =  $N_A$  on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

$N_{Ap}$	= $N_A$ on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$N_i$	= number of intercepts with a test line.
$N_{\text{Inside}}$	= number of grains completely within a test circle.
$N_{\text{Intercepted}}$	= number of grains intercepted by the test circle.
$N_L$	= number of intercepts per unit length of test line.
$N_{L\ell}$	= $N_L$ on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$N_{Lt}$	= $N_L$ on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$N_{Lp}$	= $N_L$ on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$P_i$	= number of grain boundary intersections with a test line.
$P_L$	= number of grain boundary intersections per unit length of test line.
$P_{L\ell}$	= $P_L$ on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$P_{Lt}$	= $P_L$ on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$P_{Lp}$	= $P_L$ on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
$Q$	= correction factor for comparison chart ratings using a non-standard magnification for microscopically determined grain sizes.
$Q_m$	= correction factor for comparison chart ratings using a non-standard magnification for macroscopically determined grain sizes.
$s$	= standard deviation.
$S_V$	= grain boundary surface area to volume ratio for a single phase structure.
$S_{V\alpha}$	= grain boundary surface area to volume ratio for a two phase (constituent) structure.
$t$	= students' $t$ multiplier for determination of the confidence interval.
$V_{V\alpha}$	= volume fraction of the $\alpha$ phase in a two phase (constituent) microstructure.
95 % CI	= 95 % confidence interval.
% RA	= percent relative accuracy.

#### 4. Significance and Use

4.1 These test methods cover procedures for estimating and rules for expressing the average grain size of all metals consisting entirely, or principally, of a single phase. The test methods may also be used for any structures having appearances similar to those of the metallic structures shown in the comparison charts. The three basic procedures for grain size estimation are:

4.1.1 *Comparison Procedure*—The comparison procedure does not require counting of either grains, intercepts, or intersections but, as the name suggests, involves comparison of the grain structure to a series of graded images, either in the form of a wall chart, clear plastic overlays, or an eyepiece reticle. There appears to be a general bias in that comparison

grain size ratings claim that the grain size is somewhat coarser ( $1/2$  to 1  $G$  number lower) than it actually is (see X1.3.5). Repeatability and reproducibility of comparison chart ratings are generally  $\pm 1$  grain size number.

4.1.2 *Planimetric Procedure*—The planimetric method involves an actual count of the number of grains within a known area. The number of grains per unit area,  $N_A$ , is used to determine the ASTM grain size number,  $G$ . The precision of the method is a function of the number of grains counted. A precision of  $\pm 0.25$  grain size units can be attained with a reasonable amount of effort. Results are free of bias and repeatability and reproducibility are less than  $\pm 0.5$  grain size units. An accurate count does require marking off of the grains as they are counted.

4.1.3 *Intercept Procedure*—The intercept method involves an actual count of the number of grains intercepted by a test line or the number of grain boundary intersections with a test line, per unit length of test line, used to calculate the mean lineal intercept length,  $\bar{\tau}$ .  $\bar{\tau}$  is used to determine the ASTM grain size number,  $G$ . The precision of the method is a function of the number of intercepts or intersections counted. A precision of better than  $\pm 0.25$  grain size units can be attained with a reasonable amount of effort. Results are free of bias; repeatability and reproducibility are less than  $\pm 0.5$  grain size units. Because an accurate count can be made without need of marking off intercepts or intersections, the intercept method is faster than the planimetric method for the same level of precision.

4.2 For specimens consisting of equiaxed grains, the method of comparing the specimen with a standard chart is most convenient and is sufficiently accurate for most commercial purposes. For higher degrees of accuracy in determining average grain size, the intercept or planimetric procedures may be used. The intercept procedure is particularly useful for structures consisting of elongated grains.

4.3 In case of dispute, the intercept procedure shall be the referee procedure in all cases.

4.4 No attempt should be made to estimate the average grain size of heavily cold-worked material. Partially recrystallized wrought alloys and lightly to moderately cold-worked material may be considered as consisting of non-equiaxed grains, if a grain size measurement is necessary.

4.5 *Individual grain measurements should not be made based on the standard comparison charts.* These charts were constructed to reflect the typical log-normal distribution of grain sizes that result when a plane is passed through a three-dimensional array of grains. Because they show a distribution of grain dimensions, ranging from very small to very large, depending on the relationship of the planar section and the three-dimensional array of grains, the charts are not applicable to measurement of individual grains.

#### 5. Generalities of Application

5.1 It is important, in using these test methods, to recognize that the estimation of average grain size is not a precise measurement. A metal structure is an aggregate of three-dimensional crystals of varying sizes and shapes. Even if all these crystals were identical in size and shape, the grain cross

sections, produced by a random plane (surface of observation) through such a structure, would have a distribution of areas varying from a maximum value to zero, depending upon where the plane cuts each individual crystal. Clearly, no two fields of observation can be exactly the same.

5.2 The size and location of grains in a microstructure are normally completely random. No nominally random process of positioning a test pattern can improve this randomness, but random processes can yield poor representation by concentrating measurements in part of a specimen. *Representative* implies that all parts of the specimen contribute to the result, not, as sometimes has been presumed, that fields of average grain size are selected. Visual selection of fields, or casting out of extreme measurements, may not falsify the average when done by unbiased experts, but will in all cases give a false impression of high precision. For representative sampling, the area of the specimen is mentally divided into several equal coherent sub-areas and stage positions prespecified, which are approximately at the center of each sub-area. The stage is successively set to each of these positions and the test pattern applied blindly, that is, with the light out, the shutter closed, or the eye turned away. No touch-up of the position so selected is allowable. Only measurements made on fields chosen in this way can be validated with respect to precision and bias.

**6. Sampling**

6.1 Specimens should be selected to represent average conditions within a heat lot, treatment lot, or product, or to assess variations anticipated across or along a product or component, depending on the nature of the material being tested and the purpose of the study. Sampling location and frequency should be based upon agreements between the manufacturers and the users.

6.2 Specimens should not be taken from areas affected by shearing, burning, or other processes that will alter the grain structure.

**7. Test Specimens**

7.1 In general, if the grain structure is equiaxed, any specimen orientation is acceptable. However, the presence of an equiaxed grain structure in a wrought specimen can only be determined by examination of a plane of polish parallel to the deformation axis.

7.2 If the grain structure on a longitudinally oriented specimen is equiaxed, then grain size measurements on this plane, or any other, will be equivalent within the statistical precision of the test method. If the grain structure is not equiaxed, but elongated, then grain size measurements on specimens with different orientations will vary. In this case, the grain size should be evaluated on at least two of the three principle planes, transverse, longitudinal, and planar (or radial and transverse for round bar) and averaged as described in Section 16 to obtain the mean grain size. If directed test lines are used, rather than test circles, intercept counts on non-equiaxed grains in plate or sheet type specimens can be made using only two principle test planes, rather than all three as required for the planimetric method.

7.3 The surface to be polished should be large enough in area to permit measurement of at least five fields at the desired

magnification. In most cases, except for thin sheet or wire specimens, a minimum polished surface area of 160 mm<sup>2</sup> (0.25 in.<sup>2</sup>) is adequate.

7.4 The specimen shall be sectioned, mounted (if necessary), ground, and polished according to the recommended procedures in Practice E 3. The specimen shall be etched using a reagent, such as listed in Practice E 407, to delineate most, or all, of the grain boundaries (see also Annex A3).

**TABLE 1 Suggested Comparison Charts for Metallic Materials**

NOTE 1—These suggestions are based upon the customary practices in industry. For specimens prepared according to special techniques, the appropriate comparison standards should be selected on a structural-appearance basis in accordance with 8.2.

Material	Plate Number	Basic Magnification
Aluminum	I	100X
Copper and copper-base alloys (see Annex A4)	III or IV	75X, 100X
Iron and steel:		
Austenitic	II or IV	100X
Ferritic	I	100X
Carburized	IV	100X
Stainless	II	100X
Magnesium and magnesium-base alloys	I or II	100X
Nickel and nickel-base alloys	II	100X
Super-strength alloys	I or II	100X
Zinc and zinc-base alloys	I or II	100X

**8. Calibration**

8.1 Use a stage micrometer to determine the true linear magnification for each objective, eyepiece and bellows, or zoom setting to be used within ±2 %.

8.2 Use a ruler with a millimetre scale to determine the actual length of straight test lines or the diameter of test circles used as grids.

**9. Preparation of Photomicrographs**

9.1 When photomicrographs are used for estimating the average grain size, they shall be prepared in accordance with Guide E 883.

**10. Comparison Procedure**

10.1 The comparison procedure shall apply to completely recrystallized or cast materials with equiaxed grains.

10.2 When grain size estimations are made by the more convenient comparison method, repeated checks by individuals as well as by interlaboratory tests have shown that unless the appearance of the standard reasonably well approaches that of the sample, errors may occur. To minimize such errors, the comparison charts are presented in four categories as follows:<sup>4</sup>

10.2.1 *Plate I*—Untwinned grains (flat etch). Includes grain size numbers 00, 0, 1/2, 1, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2, 4, 4 1/2, 5, 5 1/2, 6, 6 1/2, 7, 7 1/2, 8, 8 1/2, 9, 9 1/2, 10, at 100X.

10.2.2 *Plate II*—Twinned grains (flat etch). Includes grain size numbers, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

<sup>4</sup> Plates I, II, III, and IV are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE011201 (Plate I), ADJE011202 (Plate II), ADJE011203 (Plate III), and ADJE011204 (Plate IV). A combination of all four plates is also available. Order Adjunct: ADJE011214.

10.2.3 *Plate III*—Twinned grains (contrast etch). Includes nominal grain diameters of 0.200, 0.150, 0.120, 0.090, 0.070, 0.060, 0.050, 0.045, 0.035, 0.025, 0.020, 0.015, 0.010, 0.005 mm at 75X.

10.2.4 *Plate IV*—Austenite grains in steel (McQuaid-Ehn). Includes grain size numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

10.3 Table 1 lists a number of materials and the comparison charts that are suggested for use in estimating their average grain sizes. For example, for twinned copper and brass with a contrast etch, use Plate III.

NOTE 1—Examples of grain-size standards from Plates I, II, III, and IV are shown in Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, and Fig. 4.

10.4 The estimation of microscopically-determined grain size should usually be made by direct comparison at the same magnification as the appropriate chart. Accomplish this by comparing a projected image or a photomicrograph of a representative field of the test specimen with the photomicrographs of the appropriate standard grain-size series, or with suitable reproductions or transparencies of them, and select the photomicrograph which most nearly matches the image of the test specimen or interpolate between two standards. Report this estimated grain size as the ASTM grain size number, or grain diameter, of the chart picture that most closely matches the image of the test specimen or as an interpolated value between two standard chart pictures.

10.5 Good judgment on the part of the observer is necessary to select the magnification to be used, the proper size of area (number of grains), and the number and location in the specimen of representative sections and fields for estimating the characteristic or average grain size. It is not sufficient to visually select what appear to be areas of average grain size. Recommendations for choosing appropriate areas for all procedures have been noted in 5.2.

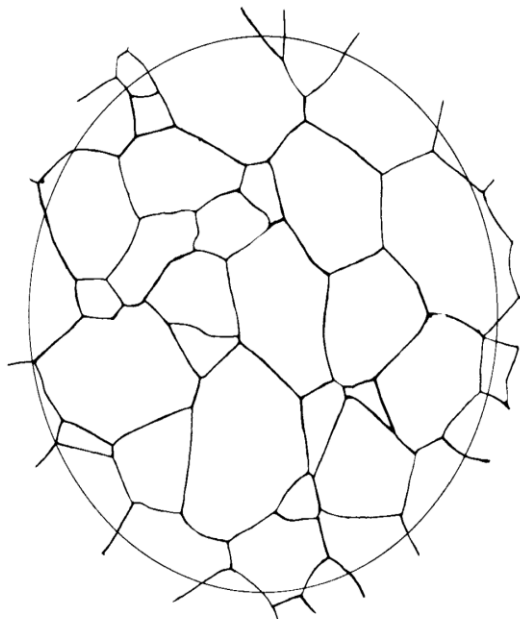


FIG. 1 Example of Untwinned Grains (Flat Etch) from Plate I. Grain Size No. 3 at 100X

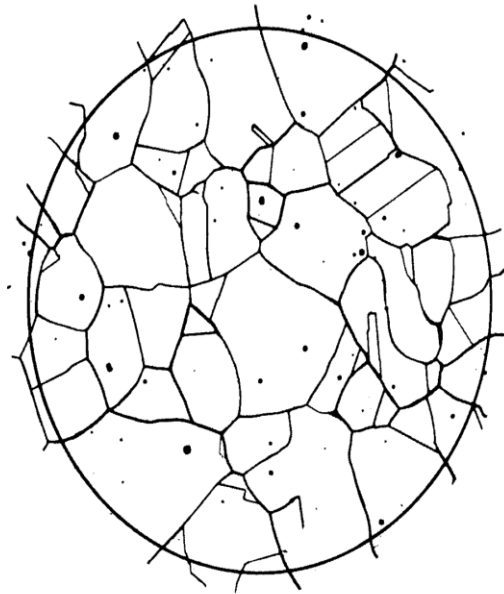


FIG. 2 Example of Twin Grains (Flat Etch) from Plate II. Grain Size No. 3 at 100X



FIG. 3 Example of Twin Grains (Contrast Etch) from Plate III. Grain Size 0.090 mm at 75X

10.6 Grain size estimations shall be made on three or more representative areas of each specimen section.

10.7 When the grains are of a size outside the range covered by the standard photographs, or when magnifications of 75X or 100X are not satisfactory, other magnifications may be employed for comparison by using the relationships given in Note 2 and Table 2. It may be noted that alternative magnifications



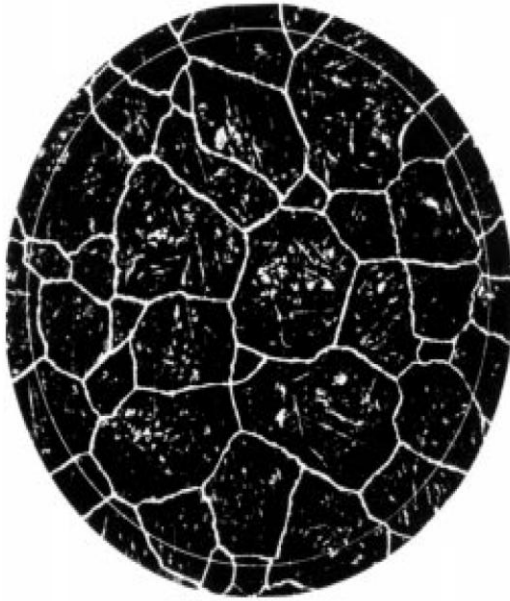


FIG. 4 Example of Austenite Grains in Steel from Plate IV. Grain Size No. 3 at 100X

10.8 The small number of grains per field at the coarse end of the chart series, that is, size 00, and the very small size of the grains at the fine end make accurate comparison ratings difficult. When the specimen grain size falls at either end of the chart range, a more meaningful comparison can be made by changing the magnification so that the grain size lies closer to the center of the range.

10.9 The use of transparencies<sup>5</sup> or prints of the standards, with the standard and the unknown placed adjacent to each other, is to be preferred to the use of wall chart comparison with the projected image on the microscope screen.

10.10 No particular significance should be attached to the fact that different observers often obtain slightly different results, provided the different results fall within the confidence limits reasonably expected with the procedure used.

10.11 There is a possibility when an operator makes repeated checks on the same specimen using the comparison method that they will be prejudiced by their first estimate. This disadvantage can be overcome, when necessary, by changes in magnification, through bellows extension, or objective or eyepiece replacement between estimates (1).<sup>6</sup>

10.12 Make the estimation of macroscopically-determined grain sizes (extremely coarse) by direct comparison, at a magnification of 1X, of the properly prepared specimen, or of a photograph of a representative field of the specimen, with

TABLE 2 Microscopically Determined Grain Size Relationships Using Plate III at Various Magnifications

NOTE 1—First line—mean grain diameter,  $d$ , in mm; in parentheses—equivalent ASTM grain size number,  $G$ .

NOTE 2—Magnification for Plate III is 75X (row 3 data).

Magnification	Chart Picture Number (Plate III)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
25X	0.015 (9.2)	0.030 (7.2)	0.045 (6.0)	0.060 (5.2)	0.075 (4.5)	0.105 (3.6)	0.135 (2.8)	0.150 (2.5)	0.180 (2.0)	0.210 (1.6)	0.270 (0.8)	0.360 (0)	0.451 (0/00)	0.600 (00 +)
50X	0.0075 (11.2)	0.015 (9.2)	0.0225 (8.0)	0.030 (7.2)	0.0375 (6.5)	0.053 (5.6)	0.0675 (4.8)	0.075 (4.5)	0.090 (4.0)	0.105 (3.6)	0.135 (2.8)	0.180 (2.0)	0.225 (1.4)	0.300 (0.5)
75X	0.005 (12.3)	0.010 (10.3)	0.015 (9.2)	0.020 (8.3)	0.025 (7.7)	0.035 (6.7)	0.045 (6.0)	0.050 (5.7)	0.060 (5.2)	0.070 (4.7)	0.090 (4.0)	0.120 (3.2)	0.150 (2.5)	0.200 (1.7)
100X	0.00375 (13.2)	0.0075 (11.2)	0.0112 (10.0)	0.015 (9.2)	0.019 (8.5)	0.026 (7.6)	0.034 (6.8)	0.0375 (6.5)	0.045 (6.0)	0.053 (5.6)	0.067 (4.8)	0.090 (4.0)	0.113 (3.4)	0.150 (2.5)
200X	0.0019 (15.2)	0.00375 (13.2)	0.0056 (12.0)	0.0075 (11.2)	0.009 (10.5)	0.013 (9.6)	0.017 (8.8)	0.019 (8.5)	0.0225 (8.0)	0.026 (7.6)	0.034 (6.8)	0.045 (6.0)	0.056 (5.4)	0.075 (4.5)
400X	—	0.0025 (14.3)	0.0037 (13.2)	0.005 (12.3)	0.006 (11.7)	0.009 (10.7)	0.011 (10.0)	0.0125 (9.7)	0.015 (9.2)	0.0175 (8.7)	0.0225 (8.0)	0.030 (7.2)	0.0375 (6.5)	0.050 (5.7)
500X	—	—	0.003 (13.8)	0.004 (13.0)	0.005 (12.3)	0.007 (11.4)	0.009 (10.6)	0.010 (10.3)	0.012 (9.8)	0.014 (9.4)	0.018 (8.6)	0.024 (7.8)	0.030 (7.2)	0.040 (6.3)

are usually simple multiples of the basic magnifications.

NOTE 2—If the grain size is reported in ASTM numbers, it is convenient to use the relationship:

$$Q = 2 \log_2 (M/M_b) \quad (2)$$

$$= 6.64 \log_{10} (M/M_b)$$

where  $Q$  is a correction factor that is added to the apparent micro-grain size of the specimen, as viewed at the magnification,  $M$ , instead of at the basic magnification,  $M_b$  (75X or 100X), to yield the true ASTM grain-size number. Thus, for a magnification of 25X, the true ASTM grain-size number is four numbers lower than that of the corresponding photomicrograph at 100X ( $Q = -4$ ). Likewise, for 400X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher ( $Q = +4$ ) than that of the corresponding photomicrograph at 100X. Similarly, for 300X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher than that of the corresponding photomicrograph at 75X.

photographs of the standard grain series shown in Plate I (for untwinned material) and Plates II and III (for twinned material). Since the photographs of the standard grain size series

<sup>5</sup> Transparencies of the various grain sizes in Plate I are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE112010 for the set. Transparencies of individual grain size groupings are available on request. Order Adjunct: ADJE011205 (Grain Size 00), ADJE012206 (Grain Size 0), ADJE012207 (Grain Size 0.5), ADJE011208 (Grain Size 1.0), ADJE011209 (Grain Size 1.5), ADJE11210 (Grain Size 2.0), ADJE011211 (Grain Size 2.5), ADJE011212 (Grain Sizes 3.0, 3.5, and 4.0), ADJE011213 (Grain Sizes 4.5, 5.0, and 5.5), ADJE011214 (Grain Sizes 6.0, 6.5, and 7.0), ADJE011215 (Grain Sizes 7.5, 8.0, and 8.5), and ADJE011216 (Grain Sizes 9.0, 9.5, and 10.0). Charts illustrating grain size numbers 00 to 10 are on 8½ by 11 in. (215.9 by 279.4 mm) film. Transparencies for Plates II, III, and IV are not available.

<sup>6</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references appended to these test methods.

TABLE 3 Macroscopic Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

NOTE 1—Macroscopically determined grain size numbers M-12.3, M-13.3, M-13.8 and M-14.3 correspond, respectively, to microscopically determined grain size numbers (*G*) 00, 0, 0.5 and 1.0.

Macro Grain Size No.	$\bar{N}_A$ Grains/Unit Area		$\bar{A}$ Average Grain Area		$\bar{d}$ Average Diameter		$\bar{\tau}$ Mean Intercept		$\bar{N}_L$	$\bar{N}$
	No./mm <sup>2</sup>	No./in. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>	mm	in.	mm	in.	mm <sup>-1</sup>	100 mm
M-0	0.0008	0.50	1290.3	2.00	35.9	1.41	32.00	1.2	0.031	3.13
M-0.5	0.0011	0.71	912.4	1.41	30.2	1.19	26.91	1.0	0.037	3.72
M-1.0	0.0016	1.00	645.2	1.00	25.4	1.00	22.63	0.89	0.044	4.42
M-1.5	0.0022	1.41	456.2	0.707	21.4	0.841	19.03	0.74	0.053	5.26
M-2.0	0.0031	2.00	322.6	0.500	18.0	0.707	16.00	0.63	0.063	6.25
M-2.5	0.0044	2.83	228.1	0.354	15.1	0.595	13.45	0.53	0.074	7.43
M-3.0	0.0062	4.00	161.3	0.250	12.7	0.500	11.31	0.44	0.088	8.84
M-3.5	0.0088	5.66	114.0	0.177	10.7	0.420	9.51	0.37	0.105	10.51
M-4.0	0.0124	8.00	80.64	0.125	8.98	0.354	8.00	0.31	0.125	12.50
M-4.5	0.0175	11.31	57.02	0.0884	7.55	0.297	6.73	0.26	0.149	14.87
M-5.0	0.0248	16.00	40.32	0.0625	6.35	0.250	5.66	0.22	0.177	17.68
M-5.5	0.0351	22.63	28.51	0.0442	5.34	0.210	4.76	0.18	0.210	21.02
M-6.0	0.0496	32.00	20.16	0.0312	4.49	0.177	4.00	0.15	0.250	25.00
M-6.5	0.0701	45.26	14.26	0.0221	3.78	0.149	3.36	0.13	0.297	29.73
M-7.0	0.099	64.00	10.08	0.0156	3.17	0.125	2.83	0.11	0.354	35.36
M-7.5	0.140	90.51	7.13	0.0110	2.67	0.105	2.38	0.093	0.420	42.05
				$\times 10^{-3}$		$\times 10^{-3}$		$\times 10^{-3}$		
M-8.0	0.198	128.0	5.04	7.812	2.25	88.4	2.00	78.7	0.500	50.00
M-8.5	0.281	181.0	3.56	5.524	1.89	74.3	1.68	66.2	0.595	59.46
M-9.0	0.397	256.0	2.52	3.906	1.59	62.5	1.41	55.7	0.707	70.71
M-9.5	0.561	362.1	1.78	2.762	1.33	52.6	1.19	46.8	0.841	84.09
M-10.0	0.794	512.0	1.26	1.953	1.12	44.2	1.00	39.4	1.00	100.0
M-10.5	1.122	724.1	0.891	1.381	0.994	37.2	0.841	33.1	1.19	118.9
M-11.0	1.587	1024.1	0.630	0.977	0.794	31.2	0.707	27.8	1.41	141.4
M-11.5	2.245	1448.2	0.445	0.690	0.667	26.3	0.595	23.4	1.68	168.2
M-12.0	3.175	2048.1	0.315	0.488	0.561	22.1	0.500	19.7	2.00	200.0
M-12.3	3.908	2521.6	0.256	0.397	0.506	19.9	0.451	17.7	2.22	221.9
M-12.5	4.490	2896.5	0.223	0.345	0.472	18.6	0.420	16.6	2.38	237.8
M-13.0	6.349	4096.3	0.157	0.244	0.397	15.6	0.354	13.9	2.83	282.8
M-13.3	7.817	5043.1	0.128	0.198	0.358	14.1	0.319	12.5	3.14	313.8
M-13.5	8.979	5793.0	0.111	0.173	0.334	13.1	0.297	11.7	3.36	336.4
M-13.8	11.055	7132.1	0.091	0.140	0.301	11.8	0.268	10.5	3.73	373.2
M-14.0	12.699	8192.6	0.079	0.122	0.281	11.0	0.250	9.84	4.00	400.0
M-14.3	15.634	10086.3	0.064	0.099	0.253	9.96	0.225	8.87	4.44	443.8

were made at 75 and 100 diameters magnification, grain sizes estimated in this way do not fall in the standard ASTM grain-size series and hence, preferably, should be expressed either as diameter of the average grain or as one of the macro-grain size numbers listed in Table 3. For the smaller macroscopic grain sizes, it may be preferable to use a higher magnification and the correction factor given in Note 3, particularly if it is desirable to retain this method of reporting.

NOTE 3—If the grain size is reported in ASTM macro-grain size numbers, it is convenient to use the relationship:

$$Q_m = 2 \log_2 M \tag{3}$$

$$= 6.64 \log_{10} M$$

where  $Q_m$  is a correction factor that is added to the apparent grain size of the specimen, when viewed at the magnification  $M$ , instead of at 1X, to yield the true ASTM macro-grain size number. Thus, for a magnification of 2X, the true ASTM macro-grain size number is two numbers higher ( $Q=+2$ ), and for 4X, the true ASTM macro-grain size number is four numbers higher ( $Q=+4$ ) than that of the corresponding photograph.

10.13 The comparison procedure shall be applicable for estimating the austenite grain size in ferritic steel after a McQuaid-Ehn test (see Annex A3, A3.2), or after the austenite grains have been revealed by any other means (see Annex A3,

A3.3). Make the grain-size measurement by comparing the microscopic image, at magnification of 100X, with the standard grain size chart in Plate IV, for grains developed in a McQuaid-Ehn test (see Annex A3); for the measurement of austenite grains developed by other means (see Annex A3), measure by comparing the microscopic image with the plate having the most nearly comparable structure observed in Plates I, II, or IV.

10.14 The so-called "Shepherd Fracture Grain Size Method" of judging grain size from the appearance of the fracture of hardened steel (2), involves comparison of the specimen under investigation with a set of standard fractures.<sup>7</sup> It has been found that the arbitrarily numbered fracture grain size series agree well with the correspondingly numbered ASTM grain sizes presented in Table 4. This coincidence makes the fracture grain sizes interchangeable with the austenitic grain sizes determined microscopically. The sizes observed microscopically shall be considered the primary standard, since they can be determined with measuring instruments.

<sup>7</sup> A photograph of the Shepherd standard fractures can be obtained from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE011224.

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	$\bar{N}_A$ Grains/Unit Area		$\bar{A}$ Average Grain Area		$\bar{d}$ Average Diameter		$\bar{T}$ Mean Intercept		$\bar{N}_L$ No./mm
	No./m. <sup>2</sup> at 100X	No./mm <sup>2</sup> at 1X	mm <sup>2</sup>	μm <sup>2</sup>	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

11. Planimetric (or Jeffries') (3) Procedure

11.1 In the planimetric procedure inscribe a circle<sup>8</sup> or rectangle of known area (usually 5000 mm<sup>2</sup> 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  $\bar{N}_A$ . Count a minimum of three fields to ensure a reasonable average. The number of grains per square millimetre at 1X,  $\bar{N}_A$ , 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),  $N_{\text{Inside}}$  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, *A*, is the reciprocal of  $N_A$ , that is,  $1/N_A$ , while the mean grain diameter, *d*, as listed on Plate III (see 10.2.3), is the square root of *A*. This grain diameter has no

<sup>8</sup> 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 mm<sup>2</sup> area) and the other with a diameter of 159.6 mm (20 000 mm<sup>2</sup> area). Order Adjunct: ADJE011223.

TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier, *f*, for an Area of 5000 mm<sup>2</sup> (a Circle of 79.8-mm Diameter) (*f* = 0.0002 M<sup>2</sup>)

Magnification Used, <i>M</i>	Jeffries' Multiplier, <i>f</i> , to Obtain Grains/mm <sup>2</sup>
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 <sup>A</sup>	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

<sup>A</sup> At 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier, *f*, becomes unity if the area used is 5625 mm<sup>2</sup> (a circle of 84.5-mm diameter).

physical significance because it represents the side of a square grain of area *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.<sup>2</sup> at 100X, hence 15,500 grains/mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> 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  $A$  (Eq 1) for the planimetric method. The relationship

$$\ell = \left(\frac{\pi}{4A}\right)^{1/2} \tag{5}$$

between the mean lineal intercept,  $\ell$ , and the average grain area,  $A$ , is exact for circles but not quite exact for a structure of uniform equiaxed grains (see A2.2.2). Consequently, the relationship between the ASTM grain size number  $G$  and the mean lineal intercept has been defined so that ASTM No. 0 has a mean intercept size of precisely 32.00 mm for the macroscopically determined grain size scale and of 32.00 mm on a field of view at 100X magnification for the microscopically determined grain size scale. Thus:

$$G = 2\log_2 \frac{\ell_0}{\ell} \tag{6}$$

**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
$G = (3.321928 \log_{10} \bar{N}_A) - 2.954$	$N_A$ in mm <sup>-2</sup>
$G = (6.643856 \log_{10} \bar{N}_L) - 3.288$	$\bar{N}_L$ in mm <sup>-1</sup>
$G = (6.643856 \log_{10} P_L) - 3.288$	$P_L$ in mm <sup>-1</sup>
$G = (-6.643856 \log_{10} \ell) - 3.288$	$\ell$ in mm

$$G = 10.00 - 2\log_2 \ell \tag{7}$$

$$G = 10.00 + 2\log_2 \bar{N}_L \tag{8}$$

where  $\ell_0$  is 32 mm and  $\bar{\ell}$  and  $\bar{N}_L$  are in millimetres at 1X or number of intercepts per mm for the macroscopically determined grain size numbers and in millimetres or number per mm on a field at 100X for the microscopically determined grain size numbers. Using this scale, measured grain size numbers are within about 0.01  $G$  units of grain size numbers determined by the planimetric method, that is, well within the precision of the test methods. Additional details concerning grain size relationships are given in Annex A1 and Annex A2.

12.4 The mean intercept distance,  $\bar{\ell}$ , measured on a plane section is an unbiased estimate of the mean intercept distance within the solid material in the direction, or over the range of directions, measured. The grain boundary surface area-to-volume ratio is given exactly by  $S_v = 2 N_L$  when  $N_L$  is averaged over three dimensions. These relations are independent of grain shape.

**13. Heyn (4) Lineal Intercept Procedure**

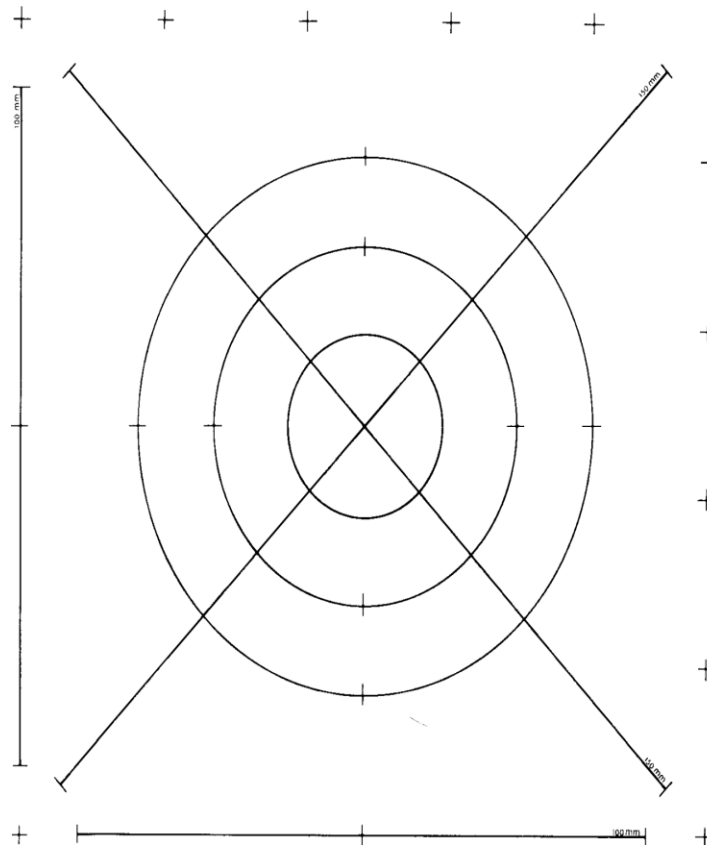
13.1 Estimate the average grain size by counting (on the ground-glass screen, on a photomicrograph of a representative field of the specimen, or on the specimen itself) the number of grains intercepted by one or more straight lines sufficiently long to yield at least 50 intercepts. It is desirable to 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

intruding grain. The two additional intersections are to be counted.

making separate size determinations along parallel line arrays that coincide with all three principal directions of the speci-



NOTE 1—If reproduced to make straight lines marked length:  
Straight lines total: 500 mm

Circles are:	Circumference, mm,	Diameter, mm
	250.0	79.58
	166.7	53.05
	83.3	26.53
	<hr/>	
	Total 500.0	

NOTE 2—See Footnote 9.

FIG. 5 Test Pattern for Intercept Counting

13.4 The effects of moderate departure from an equiaxed structure may be eliminated by making intercept counts on a line array containing lines having four or more orientations. The four straight lines of Fig. 5<sup>9</sup> may be used. The form of such arrays is not critical, provided that all portions of the field are measured with approximately equal weight. An array of lines radiating from a common point is therefore not suitable. The number of intercepts is to be counted for the entire array and single values of  $N_L$  and  $\ell$  determined for each array as a whole.

13.5 For distinctly non-equiaxed structures such as moderately worked metals, more information can be obtained by

men. Longitudinal and transverse specimen sections are normally used, the normal section being added when necessary. Either of the 100-mm lines of Fig. 5 may be applied five times, using parallel displacements, placing the five “+” marks at the same point on the image. Alternatively, a transparent test grid with systematically spaced parallel test lines of known length can be made and used.

**14. Circular Intercept Procedures**

14.1 Use of circular test lines rather than straight test lines has been advocated by Underwood (5), Hilliard (6), and Abrams (7). Circular test arrays automatically compensate for departures from equiaxed grain shapes, without overweighting any local portion of the field. Ambiguous intersections at ends of test lines are eliminated. Circular intercept procedures are

<sup>9</sup> A true-size transparency of Fig. 5 is available from ASTM Headquarters. Order Adjunct:ADJE011217.

most suitable for use as fixed routine manual procedures for grain size estimation in quality control.

14.2 Hilliard Single-Circle Procedure (6) :

14.2.1 When the grain shape is not equiaxed but is distorted by deformation or other processes, obtaining an average lineal intercept value using straight test lines requires averaging of values made at a variety of orientations. If this is not done carefully, bias may be introduced. Use of a circle as the test line eliminates this problem as the circle will test all orientations equally and without bias.

14.2.2 Any circle size of exactly known circumference may be used. Circumferences of 100, 200, or 250 mm are usually convenient. The test circle diameter should never be smaller than the largest observed grains. If the test circle is smaller than about three times the mean lineal intercept, the distribution of the number of intercepts or intersections per field will not be Gaussian. Also, use of small test circles is rather inefficient as a great many fields must be evaluated to obtain a high degree of precision. A small reference mark is usually placed at the top of the circle to indicate the place to start and stop the count. Blindly apply the selected circle to the microscope image at a convenient known magnification and count the number of grain boundaries intersecting the circle for each application. Apply the circle only once to each field of view, adding fields in a representative manner, until sufficient counts are obtained to yield the required precision. The variation in counts per test circle application decreases as the circle size increases and, of course, is affected by the uniformity of the grain size distribution.

14.2.3 As with all intercept procedures, the precision of the measurement increases as the number of counts increases (see Section 19). The precision is based on the standard deviation of the counts of the number of intercepts or intersections per field. In general, for a given grain structure, the standard deviation is improved as the count per circle application and the total count (that is, the number of applications) increase. Hilliard recommended test conditions that produce about 35 counts per circle with the test circle applied blindly over as large a specimen area as feasible until the desired total number of counts is obtained.

14.3 Abrams Three-Circle Procedure (7) :

14.3.1 Based on an experimental finding that a total of 500 counts per specimen normally yields acceptable precision, Abrams developed a specific procedure for routine average grain size rating of commercial steels. Use of the chi-square test on real data demonstrated that the variation of intercept counts is close to normal, allowing the observations to be treated by the statistics of normal distributions. Thus both a measure of variability and the confidence limit of the result are computed for each average grain size determination.

14.3.2 The test pattern consists of three concentric and equally spaced circles having a total circumference of 500 mm, as shown in Fig. 5. Successively apply this pattern to at least five blindly selected and widely spaced fields, separately recording the count of intersections per pattern for each of the tests. Then, determine the mean lineal intercept, its standard deviation, 95 % confidence limit, and percent relative accuracy. For most work, a relative accuracy of 10 % or less represents

an acceptable degree of precision. If the calculated relative accuracy is unacceptable for the application, count additional fields until the calculated percent relative accuracy is acceptable. The specific procedure is as follows:

14.3.2.1 Examine the grain structure and select a magnification that will yield from 40 to 100 intercepts or intersection counts per placement of the three circle test grid. Because our goal is to obtain a total of about 400 to 500 counts, the ideal magnification is that which yields about 100 counts per placement. However, as the count per placement increases from 40 to 100, errors in counting become more likely. Because the grain structure will vary somewhat from field to field, at least five widely spaced fields should be selected. Some metallographers feel more comfortable counting 10 fields with about 40 to 50 counts per field. For most grain structures, a total count of 400 to 500 intercepts or intersections over 5 to 10 fields produces better than 10 % relative accuracy. Fig. 6 shows the relationship between the average intercept count and the microscopically determined ASTM grain size number as a function of magnification.

14.3.2.2 Blindly select one field for measurement and apply the test pattern to the image. A transparency of the pattern may be applied directly to the ground glass, or to a photomicrograph when permanent records are desired. Direct counting using a properly sized reticle in the eyepiece is allowable, but it may here be expected that some operators will find difficulty in counting correctly at the count density recommended. Completely count each circle in turn, using a manually operated counter to accumulate the total number of grain boundary intersections with the test pattern. The manual counter is necessary to avoid bias toward unreal agreement between applications or toward a desired result, and to minimize memory errors. The operator should avoid keeping a mental score. When a tally counter is used, score any intersection of the circle with the junction of three grains as two rather than the correct value of 1½; the error introduced is very small.

14.3.3 For each field count, calculate  $N_L$  or  $P_L$  according to:

$$\bar{N}_L = \frac{N_i}{LM} \tag{9}$$

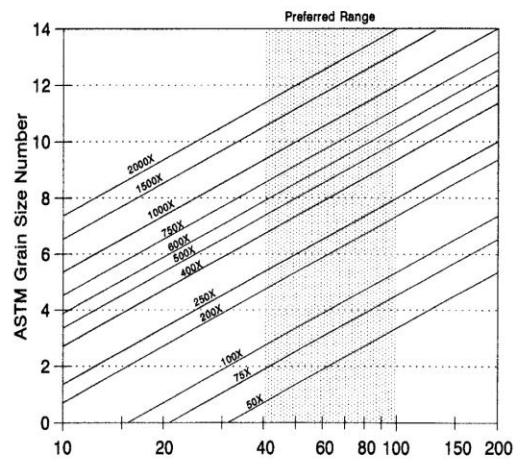


FIG. 6 Average Intercept Counts on 500 mm Test Pattern

$$\bar{P}_L = \frac{P_i}{LM} \quad (10)$$

where  $N_i$  and  $P_i$  are the number of intercepts or intersections counted on the field,  $L$  is the total test line length (500 mm) and  $M$  is the magnification.

14.3.4 Calculate the mean lineal intercept value for each field,  $\bar{L}$  by:

$$\bar{L} = \frac{1}{N_L} = \frac{1}{\bar{P}_L} \quad (11)$$

The average value of  $n$  determinations of  $N_L$ ,  $P_L$ , or  $\bar{L}$  is used to determine the microscopically measured ASTM grain size using the equations in Table 6, the data shown graphically in Fig. 6, or the data in Table 4.

**15. Statistical Analysis**

15.1 No determination of average grain size can be an exact measurement. Thus, no determination is complete without also calculating the precision within which the determined size may, with normal confidence, be considered to represent the actual average grain size of the specimen examined. In accordance with common engineering practice, this section assumes normal confidence to represent the expectation that the actual error will be within the stated uncertainty 95 % of the time.

15.1.1 Many specimens vary measurably in grain size from one field of view to another, this variation being responsible for a major portion of the uncertainty. Minimum effort in manual methods, to obtain a required precision, justifies individual counts whose precision is comparable to this natural variability (6). The high local precision that may be obtained by machine methods often will yield only a small increase in overall precision unless many fields also are measured, but does help distinguish natural variability from inaccuracies of counting.

15.2 After the desired number of fields have been measured, calculate the mean value of  $\bar{N}_A$  or  $\bar{L}$  from the individual field values according to:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (12)$$

where  $X_i$  represents an individual value,  $\bar{X}$  is the mean and  $n$  is the number of measurements.

15.3 Calculate the standard deviation of the individual measurements according to the usual equation:

$$s = \left[ \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad (13)$$

where  $s$  is the standard deviation.

15.4 Calculate the 95 % confidence interval, 95 % CI, of each measurement according to:

$$95 \% \text{ CI} = \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

where the  $\cdot$  indicates a multiplication operation. Table 7 lists values of  $t$  as a function of  $n$ .

15.5 Calculate the percent relative accuracy, % RA, of the measurements by dividing the 95 % CI value by the mean and expressing the results as a percentage, that is:

**TABLE 7 95 % Confidence Internal Multipliers,  $t$**

No. of Fields, $n$	$t$	No. of Fields, $n$	$t$
5	2.776	13	2.179
6	2.571	14	2.160
7	2.447	15	2.145
8	2.365	16	2.131
9	2.306	17	2.120
10	2.262	18	2.110
11	2.228	19	2.101
12	2.201	20	2.093

$$\% \text{ RA} = \frac{95 \% \text{ CI}}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (15)$$

15.6 If the % RA is considered to be too high for the intended application, more fields should be measured and the calculations in 15.1-15.5 should be repeated. As a general rule, a 10 % RA (or lower) is considered to be acceptable precision for most purposes.

15.7 Convert the mean value of  $\bar{N}_A$  or  $\bar{L}$  to the ASTM grain size number,  $G$ , using Table 4 or the Eqs in Table 6.

**16. Specimens with Non-equiaxed Grain Shapes**

16.1 If the grain shape was altered by processing so that the grains are no longer equiaxed in shape, grain size measurements should be made on longitudinal ( $\ell$ ), transverse ( $t$ ) and planar ( $p$ ) oriented surfaces for rectangular bar, plate or sheet type material. For round bars, radial longitudinal and transverse sections are used. If the departure from equiaxed is not too great (see 16.2.2), a reasonable estimate of the grain size can be determined using a longitudinal specimen and the circular test grid. If directed test lines are used for the analysis, measurements in the three principal directions can be made using only two of the three principal test planes.

16.2 *Planimetric Method:*

16.2.1 When the grain shape is not equiaxed but elongated, make grain counts on each of the three principal planes, that is, planes of polish on longitudinal, transverse and planar-oriented surfaces. Determine the number of grains per mm<sup>2</sup> at 1X on the longitudinal, transverse, and planar oriented surfaces,  $\bar{N}_{A\ell}$ ,  $\bar{N}_{At}$  and  $\bar{N}_{Ap}$ , respectively, and calculate the mean number of grains per unit area,  $\bar{N}_A$ , from the three  $\bar{N}_A$  values from the principal planes:

$$\bar{N} = (\bar{N}_{A\ell} \cdot \bar{N}_{At} \cdot \bar{N}_{Ap})^{1/3} \quad (16)$$

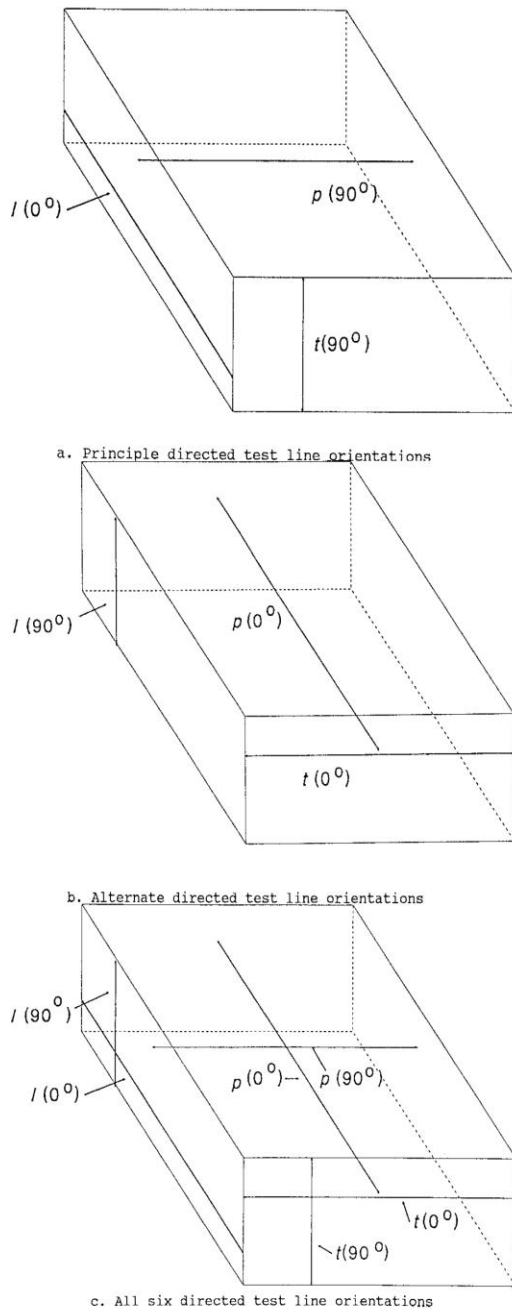
where  $\cdot$  indicates a multiplication operation and the bar above each quantity indicates an average value.

16.2.2 A reasonable estimate of the grain size can be made from  $\bar{N}_{A\ell}$  alone if the departure from an equiaxed shape is not excessive ( $\leq 3:1$  aspect ratio).

16.2.3 Calculate  $G$  from the mean value of  $\bar{N}_A$  from the averages made on each field. Perform the statistical analysis (15.1-15.5) only on the individual measurements on each field.

16.3 *Intercept Method:*

16.3.1 To assess the grain size of non-equiaxed grain structures, measurements can be made using circular test grids or randomly placed test lines on each of the three principal planes, or by use of directed test lines in either three or six of the principal directions using either two or three of the principal test planes, see Fig. 7. For specimens where the



NOTE 1—Measurements of rectangular bar, plate, strip or sheet type specimens with non-equiaxed grain structures.

FIG. 7 Schematic Showing the Six Possible Directed Test Line Orientations for Grain Size Measurement

departure from an equiaxed shape is not severe ( $\leq 3:1$  aspect ratio), a reasonable estimate of the grain size can be made using a circular test grid on the longitudinal plane only.

16.3.2 The grain size can be determined from measurements of the mean number of grain boundary intersections per unit length,  $\bar{P}_L$ , or the mean number of grains intercepted per unit

length,  $\bar{N}_L$ . Both methods yield the same results for a single phase grain structure.  $\bar{P}_L$  or  $\bar{N}_L$  can be determined using either test circles on each of the principal planes or directed test lines in either three or six of the principal test directions shown in Fig. 7.

16.3.3 For the case of randomly determined values of  $\bar{P}_L$  or  $\bar{N}_L$  on the three principal planes, compute the average value according to:

$$\bar{P} = (\bar{P}_{L\ell} \cdot \bar{P}_{Ll} \cdot \bar{P}_{Lp})^{1/3} \quad (17)$$

or

$$\bar{N} = (\bar{N}_{L\ell} \cdot \bar{N}_{Ll} \cdot \bar{N}_{Lp})^{1/3} \quad (18)$$

Alternatively, calculate  $\bar{\ell}_\ell$ ,  $\bar{\ell}_l$  and  $\bar{\ell}_p$  from the  $\bar{P}_L$  or  $\bar{N}_L$  values on each plane using (Eq 11). Then, calculate the overall mean value of  $\bar{\ell}$  from:

$$\bar{\ell} = (\bar{\ell}_\ell \cdot \bar{\ell}_l \cdot \bar{\ell}_p)^{1/3} \quad (19)$$

16.3.4 If directed test lines are used in the principal directions on the principal planes, only two of the principal planes are required to perform directed counts in the three principal directions and obtain an estimate of the grain size.

16.3.5 Additional information on grain shape may be obtained by determining  $\bar{\ell}$  parallel ( $0^\circ$ ) and perpendicular ( $90^\circ$ ) to the deformation axis on a longitudinally oriented surface. The grain elongation ratio, or the anisotropy index,  $AI$ , can be determined from:

$$AI_\ell = \bar{\ell}_{\ell(0^\circ)} / \bar{\ell}_{\ell(90^\circ)} \quad (20)$$

16.3.5.1 The three-dimensional mean grain size and shape may also be defined by the directed mean lineal intercept values on the three principal planes. These values would be expressed as:

$$\bar{\ell}_{\ell(0^\circ)} : \bar{\ell}_{\ell(90^\circ)} : \bar{\ell}_{\ell(p(90^\circ))} \quad (21)$$

16.3.5.2 Another approach that can be used is to normalize the three results by dividing each by the value of the smallest with the results expressed as ratios.

16.3.6 The mean value of  $\bar{\ell}$  for the measurements in the three principal test directions is obtained by averaging the directed  $\bar{N}_L$ , or  $\bar{P}_L$  values (as shown in (Eq 22)) and then computing  $\bar{\ell}$  from this mean value; or, by calculating directed  $\bar{\ell}$  values in each of the three principal directions and then averaging them according to (Eq 23):

$$\bar{P} = (\bar{P}_{L\ell(0^\circ)} \cdot \bar{P}_{L\ell(90^\circ)} \cdot \bar{P}_{Lp(90^\circ)})^{1/3} \quad (22)$$

This is done in like manner for  $\bar{N}_L$ . For computing the grand mean  $\bar{\ell}$  from the directed mean values, use:

$$\bar{\ell} = (\bar{\ell}_{\ell(0^\circ)} \cdot \bar{\ell}_{\ell(90^\circ)} \cdot \bar{\ell}_{\ell p(90^\circ)})^{1/3} \quad (23)$$

where the  $\cdot$  indicates a multiplication operation.

16.3.7 The mean grain size is determined from the overall averages of  $\bar{P}_L$ ,  $\bar{N}_L$  or  $\bar{\ell}$  using Table 4 or the equations in Table 6. Additional information on the measurement of grain size for non-equiaxed structures can be found in Annex A1 of Test Methods E 1382.

16.4 Statistical analysis should be performed on the data



from each plane or each principal test direction according to the procedure in 15.1-15.5.

### 17. Specimens Containing Two or More Phases or Constituents

17.1 Minor amounts of second phase particles, whether desirable or undesirable features, may be ignored in the determination of grain size, that is, the structure is treated as a single phase material and the previously described planimetric or intercept methods are used to determine the grain size. Unless stated otherwise, the effective average grain size shall be presumed to be the size of the matrix phase.

17.2 The identity of each measured phase and the percentage of field area occupied by each phase shall be determined and reported. The percentage of each phase can be determined according to Practice E 562.

17.3 *Comparison Method*—The comparison chart rating procedure may provide acceptable precision for most commercial applications if the second phase (or constituent) consists of *islands* or *patches* of essentially the same size as the matrix grains; or, the amount and size of the second phase particles are both small and the particles are located primarily along grain boundaries.

17.4 *Planimetric Method*—The planimetric method may be applied if the matrix grain boundaries are clearly visible and the second phase (constituent) particles are mainly present between the matrix grains rather than within the grains. Determine the percentage of the test area occupied by the second phase, for example, by Practice E 562. Always determine the amount of the phase of least concentration, usually the second phase or constituent. Then, determine the matrix phase by difference. Next, count the number of matrix grains completely within the test areas and the number of matrix grains intersecting the test area boundary, as described in Section 11. The test area must be reduced to that covered only by the matrix phase grains. The effective average grain size is then determined from the number of grains per unit net area of the matrix phase. Statistically analyze the number of grains per unit area of the  $\alpha$  matrix phase,  $N_A \alpha$ , from each field measurement using the approach described in Section 15. Then, from the overall average,  $\bar{N}_A \alpha$ , determine the effective grain size of the matrix using Table 4 or the appropriate equation in Table 6.

17.5 *Intercept Method*—The same restrictions regarding applicability, as stated in 17.4, pertain to this method. Again, the amount of the matrix phase must be determined, as described in 17.4. A test grid consisting of one or more test circles, such as shown in Fig. 5, is used. For this application, count the number of matrix grains,  $N_\alpha$ , intercepted by the test line. Determine the mean intercept length of the matrix phase according to:

$$\bar{\tau}_\alpha = \frac{(V_{V\alpha})(L/M)}{N_\alpha} \quad (24)$$

where the volume fraction of the  $\alpha$  matrix,  $V_{V\alpha}$ , is expressed as a fraction,  $L$  is the test line length and  $M$  is the magnification. The grain size of the  $\alpha$  grains is determined using Table 4 or the equation in Table 6. In practice, it is inconvenient to manually determine the volume fraction of the  $\alpha$  phase and the

number of  $\alpha$  grains intercepting the test line for each field. If this is done, the mean lineal intercept length of the  $\alpha$  phase for each field can be determined and this data can be statistically analyzed for each field according to the procedure described in Section 15. If  $V_{V\alpha}$  and  $N_\alpha$  are not measured simultaneously for the same fields, then the statistical analysis can only be performed on the  $V_{V\alpha}$  and  $N_\alpha$  data.

17.6 It is also possible to determine  $\bar{\tau}_\alpha$  by measurement of individual intercept lengths using parallel straight test lines applied randomly to the structure. Do not measure the partial intercepts at the ends of the test lines. This method is rather tedious unless it can be automated in some way. The individual intercepts are averaged and this value is used to determine  $G$  from Table 4 or the equation in Table 6. The individual intercepts may be plotted in a histogram, but this is beyond the scope of these test methods.

### 18. Report

18.1 The test report should document all of the pertinent identifying information regarding the specimen, its composition, specification designation or trade name, customer or data requester, date of test, heat treatment or processing history, specimen location and orientation, etchant and etch method, grain size analysis method, and so forth, as required.

18.2 List the number of fields measured, the magnification, and field area. The number of grains counted or the number of intercepts or intersections counted, may also be recorded. For a two-phase structure, list the area fraction of the matrix phase.

18.3 A photomicrograph illustrating the typical appearance of the grain structure may be provided, if required or desired.

18.4 List the mean measurement value, its standard deviation, 95 % confidence interval, percent relative accuracy, and the ASTM grain size number.

18.4.1 For the comparison method, list only the estimated ASTM grain size number.

18.5 For a non-equiaxed grain structure, list the method of analysis, planes examined, directions evaluated (if applicable), the grain size estimate per plane or direction, the grand mean of the planar measurements, and the computed or estimated ASTM grain size number.

18.6 For a two-phase structure, list the method of analysis, the amount of the matrix phase (if determined), the grain size measurement of the matrix phase (and the standard deviation, 95 % confidence interval, and percent relative accuracy), and the computed or estimated ASTM grain size number.

18.7 If it is desired to express the average grain size of a group of specimens from a lot, do not simply average the ASTM grain size numbers. Instead, compute an arithmetic average of the actual measurements, such as, the  $\bar{N}_A$  or  $\bar{\ell}$  values per specimen. Then, from the lot average, calculate or estimate the ASTM grain size for the lot. The specimen values of  $\bar{N}_A$  or  $\bar{\ell}$  may also be statistically analyzed, according to the approach in Section 15, to evaluate the grain size variability within the lot.

### 19. Precision and Bias

19.1 The precision and bias of grain size measurements depend on the representativeness of the specimens selected and the areas on the plane-of-polish chosen for measurement. If the

grain size varies within a product, specimen and field selection must adequately sample this variation.

19.2 The relative accuracy of the grain size measurement of the product improves as the number of specimens taken from the product increases. The relative accuracy of the grain size measurement of each specimen improves as the number of fields sampled and the number of grains or intercepts counted increase.

19.3 Bias in measurements will occur if specimen preparation is inadequate. The true structure must be revealed and the grain boundaries must be fully delineated for best measurement precision and freedom from bias. As the percentage of non-delineated grain boundaries increases, bias increases and precision, repeatability, and reproducibility become poorer.

19.4 Inaccurate determination of the magnification of the grain structure will produce bias.

19.5 If the grain structure is not equiaxed in shape, for example, if the grain shape is elongated or flattened by deformation, measurement of the grain size on only one plane, particularly the plane perpendicular to the deformation direction, will bias test results. Grain shape distortion is best detected using a test plane parallel to the deformation direction. The size of the deformed grains should be based on measurements made on two or three of the principal planes which are averaged as described in Section 16.

19.6 Specimens with a unimodal grain size distribution are measured for average grain size using the methods described in these test methods. Specimens with bimodal (or more complex) size distributions should not be tested using a method that yields a single average grain size value; they should be characterized using the methods described in Test Methods E 1181 and measured using the methods described in Test Methods E 112. The size of individual very large grains in a fine grained matrix should be determined using Test Methods E 930.

19.7 When using the comparison chart method, the chart selected should be consistent with the nature of the grains (that is, twinned or non-twinned, or carburized and slow cooled) and the etch (that is, flat etch or grain contrast etch) for best precision.

19.8 Grain size ratings using the comparison chart method by an individual metallographer will vary within  $\pm 0.5 G$  units. When a number of individuals rate the same specimen, the spread in ratings may be as great as 1.5 to 2.5  $G$  units.

19.9 The fracture grain size method is only applicable to hardened, relatively brittle, tool steels. Specimens should be in

the as-quenched or lightly tempered condition so that the fracture surface is quite flat. An experienced metallographer can rate the prior-austenite grain size of a tool steel within  $\pm 0.5 G$  units by the Shepherd fracture grain size method.

19.10 A round robin test program (see Appendix X1), analyzed according to Practice E 691, revealed a rather consistent bias between comparison chart ratings using Plate I and grain size measurements using both the planimetric and intercept methods. Chart ratings were 0.5 to 1  $G$  unit coarser, that is, lower  $G$  numbers, than the measured values.

19.11 Grain sizes determined by either the planimetric or intercept methods produced similar results with no observed bias.

19.12 The relative accuracy of grain size measurements improved as the number of grains or intercepts counted increased. For a similar number of counts, the relative accuracy of intercept measurements was better than that of planimetric measurements of grain size. For the intercept method, 10 % RA (or less) was obtained with about 400 intercept or intersection counts while for the planimetric method, to obtain 10 % RA, or less, about 700 grains had to be counted. Repeatability and reproducibility of measurements improved as the number of grains or intercepts counted increased and was better for the intercept method than for the planimetric method for the same count.

19.13 The planimetric method requires a marking off of the grains during counting in order to obtain an accurate count. The intercept method does not require marking in order to get an accurate count. Hence, the intercept method is easier to use and faster. Further, the round robin test showed that the intercept method provides better statistical precision for the same number of counts and is, therefore, the preferred measurement method.

19.14 An individual metallographer can usually repeat planimetric or intercept grain size measurements within  $\pm 0.1 G$  units. When a number of metallographers measure the same specimen, the spread of grain sizes is usually well within  $\pm 0.5 G$  units.

## 20. Keywords

20.1 ALA grain size; anisotropy index; area fraction; ASTM grain size number; calibration; equiaxed grains; etchant; grain boundary; grains; grain size; intercept count; intercept length; intersection count; non-equiaxed grains; twin boundaries

(Mandatory Information)

A1. BASIS OF ASTM GRAIN SIZE NUMBERS

**A1.1 Descriptions of Terms and Symbols**

A1.1.1 The general term *grain size* is commonly used to designate size estimates or measurements made in several ways, employing various units of length, area, or volume. Of the various systems, only the ASTM grain size number,  $G$ , is essentially independent of the estimating system and measurement units used. The equations used to determine  $G$  from recommended measurements, as illustrated in Fig. 6 and Table 2 and Table 4, are given in A1.2 and A1.3. The nominal relationships between commonly used measurements are given in Annex A2. Measurements that appear in these equations, or in equations in the text, are as follows:

A1.1.1.1  $N$  = Number of grain sections counted on a known test area,  $A$ , or number of intercepts counted on a known test array of length =  $L$ , at some stated magnification,  $M$ . The average of counts on several fields is designated as  $\bar{N}$ .

A1.1.1.2 After correction for magnification,  $N_A$  is the number of grain sections per unit test area ( $\text{mm}^2$ ) at 1X;  $N_L$  is the number of grains intercepted per unit length (mm) of test lines at 1X; and  $P_L$  is the number of grain boundary intersections per unit length (mm) of test line at 1X.

A1.1.1.3  $\bar{\ell} = 1/N_L = 1/P_L$  where  $\bar{\ell}$  is the mean lineal intercept length in mm at 1X.

A1.1.1.4  $\bar{A} = 1/N_A$  where  $\bar{A}$  is the mean area of the grain sections ( $\text{mm}^2$ ) at 1X. The mean grain diameter,  $\bar{d}$ , is the square root of  $\bar{A}$ . Grain size values on Plate III are expressed in terms of  $\bar{d}$ . Note that Table 2 lists the equivalent ASTM grain size number for each chart picture and for several different magnifications.

A1.1.1.5 The letters  $\ell$ ,  $t$  and  $p$  are used as subscripts when assessing the grain size of specimens with non-equiaxed grain structures. The three subscripts represent the principal planes for rectangular bar, plate, sheet, or strip specimens, that is, the longitudinal ( $\ell$ ), transverse ( $t$ ) and planar ( $p$ ) surfaces. They are mutually perpendicular to each other. On each plane, there are two principal directions that are perpendicular to each other (as illustrated in Fig. 7).

A1.1.1.6 The number of fields measured is designated by  $n$ .

A1.1.1.7 Other specific designations are defined by equations which follow.

**A1.2 Intercept Methods:**

A1.2.1 Metric units,  $\bar{\ell}$  in millimetres at 100X for microscopically determined grain sizes and  $\bar{\ell}_m$  at 1X for macroscopically determined grain sizes, are used with the following equation relating  $\bar{\ell}$  or  $\bar{\ell}_m$  to  $G$ . For macroscopically determined grain sizes,  $\bar{\ell}_m$  is in mm at 100X:

$$G = 2 \log_2 \frac{\ell_0}{\bar{\ell}_m} \quad (\text{A1.1})$$

for  $G = 0$ ,  $\ell_0$  is established as 32.00 and  $\log_2 \ell_0 = 5$ .

$$G = +10.000 - 2 \log_2 \bar{\ell}_m \quad (\text{A1.2})$$

$$G = +10.0000 - 6.6439 \log_{10} \bar{\ell}_m \quad (\text{A1.3})$$

For microscopically determined grain sizes,  $\bar{\ell}$  is in millimetres at 1X and:

$$G = -3.2877 - 6.6439 \log_{10} \bar{\ell} \quad (\text{A1.4})$$

$$G = -3.2877 + 2 \log_2 \bar{N}_L \quad (\text{A1.5})$$

$$G = -3.2877 + 6.6439 \log_{10} \bar{N}_L \quad (\text{A1.6})$$

If  $\bar{P}_L$  is determined instead of  $\bar{N}_L$ , substitute  $\bar{P}_L$  for  $\bar{N}_L$  in Eq A1.5 and Eq A1.6.

**A1.3 Planimetric Method:**

A1.3.1 English units,  $\bar{N}_{AE}$  in number per square inches at 100X for microscopically determined grain sizes and at 1X for macroscopically determined grain sizes, are used with the following equations relating  $\bar{N}_{AE}$  to  $G$ :

$$G = 1.000 + \log_2 \bar{N}_{AE} \quad (\text{A1.7})$$

$$G = 1.000 + 3.3219 \log_{10} \bar{N}_{AE} \quad (\text{A1.8})$$

If  $\bar{N}_A$  is expressed in terms of the number of grains per square millimetres at 1X, for microscopically determined grain sizes, then:

$$G = 2.9542 + 3.3219 \log_{10} \bar{N}_A \quad (\text{A1.9})$$

**A2. EQUATIONS FOR CONVERSIONS AMONG VARIOUS GRAIN SIZE MEASUREMENTS**

A2.1 *Change of Magnification*—If the apparent grain size has been observed at magnification  $M$ , but determined as if at the basic magnification  $M_b$  (100X or 1X), then the size value at the basic magnification is as follows:

A2.1.1 *Planimetric Count:*

$$N_A = N_{A0} (M/M_b)^2 \quad (\text{A2.1})$$

where  $N_{A0}$  is the number of grains per unit area at magnification  $M_b$ .

A2.1.2 *Intercept Count:*

$$N_i = N_{i0} (M/M_b) \quad (\text{A2.2})$$

where  $N_{i0}$  is the number of grains intercepted by the test line (the equation for  $P_i$  and  $P_{i0}$  is the same) at magnification  $M_b$ .

A2.1.3 Any Length:

$$\bar{\ell} = \bar{\ell}_0 M_b / M \quad (\text{A2.3})$$

where  $\bar{\ell}_0$  is the mean lineal intercept at magnification  $M_b$ .

A2.1.4 ASTM Grain Size Number:

$$G = G_0 + Q \quad (\text{A2.4})$$

where:

$$\begin{aligned} Q &= 2 \log_2 (M/M_b) \\ &= 2 (\log_2 M - \log_2 M_b) \\ &= 6.6439 (\log_{10} M - \log_{10} M_b) \end{aligned}$$

where  $G_0$  is the apparent ASTM grain size number at magnification  $M_b$ .

A2.1.5 Grains per mm<sup>2</sup> at 1X from grains per in.<sup>2</sup> at 100X:

$$N_A = N_{AE} (100/25.4)^2 \quad (\text{A2.5})$$

$$N_A = 15.5 N_{AE} \quad (\text{A2.6})$$

where  $N_A$  is the number of grains per mm<sup>2</sup> at 1X and  $N_{AE}$  is the number of grains per in.<sup>2</sup> at 100X.

A2.2 Other measurements shown in the tables may be computed from the following equations:

A2.2.1 Area of Average Grain:

$$\bar{A} = 1/N_A \quad (\text{A2.7})$$

where  $\bar{A}$  is the average grain cross sectional area.

A2.2.2 Intercept Width of a Circular Grain Section:

$$\bar{\ell} = \left( \frac{\pi}{4} \bar{A} \right)^{1/2} \quad (\text{A2.8})$$

The mean intercept distance for polygonal grains varies

about this theoretical value, being decreased by anisotropy but increased by a range of section sizes. The width computed by (Eq A2.8) is 0.52 % smaller than the width assigned to  $G$  by (Eq A1.4) in A1.2.1 ( $\Delta = +0.015$  ASTM No.).

A2.3 Other useful size indications are given by the following equations:

A2.3.1 The volumetric (spatial) diameter,  $\bar{D}$ , of similar size spheres in space is:

$$\bar{D} = 1.5 \bar{\ell} \quad (\text{A2.9})$$

Similar relationships between  $\bar{\ell}$ , determined on the two-dimensional plane of polish, and the spatial diameter,  $\bar{D}$ , have been derived for a variety of potential grain shapes, and various assumptions about their size distribution. A number of formulae, such as equation (Eq A2.7), have been proposed with different multiplying factors. A reasonable estimate of the spatial diameter,  $D$ , based upon the tetrakaidecahedron shape model and a grain size distribution function (8), is:

$$\bar{D} = 1.571 \bar{\ell} \quad (\text{A2.10})$$

A2.3.2 For a single phase microstructure, the grain boundary surface area per unit volume,  $S_V$ , has been shown to be an exact function of  $P_L$  or  $N_L$ :

$$S_V = 2P_L = 2N_L \quad (\text{A2.11})$$

while for a two phase microstructure, the phase boundary surface area per unit volume of the  $\alpha$  phase,  $S_{V\alpha}$ , is:

$$S_{V\alpha} = 2P_L = 4N_L \quad (\text{A2.12})$$

### A3. AUSTENITE GRAIN SIZE, FERRITIC AND AUSTENITIC STEELS

#### A3.1 Scope

A3.1.1 Because it is sometimes necessary to subject material to special treatments or techniques in order to develop certain grain characteristics prior to the estimation of grain size, the essential details of these treatments are set forth in the following sections.

#### A3.2 Establishing Austenite Grain Size

A3.2.1 *Ferritic Steels*— Unless otherwise specified, austenite grain size shall be established by one of the following procedures:

NOTE A3.1—The indications of carbon contents in the procedure headings are advisory only. Numerous methods are in use for establishing austenite grain size, and a knowledge of grain growth and grain coarsening behavior is helpful in deciding which method to use. The size of austenite grains, in any particular steel, depends primarily on the temperature to which that steel is heated and the time it is held at the temperature. It should be remembered that the atmosphere in heating may affect the grain growth at the outside of the piece. Austenite grain size is also influenced by most previous treatments to which the steel may have been subjected as, for example, austenitizing temperature, quenching, normalizing, hot working, and cold working. It is therefore advisable, when testing for austenite grain size, to consider the effects of prior or subsequent treatments, or both, on the precise piece (or typical piece) that is under consideration.

A3.2.1.1 *Correlation Procedure (Carbon and Alloy Steels)*—Test conditions should correlate with the actual heat-treatment cycle used to develop the properties for actual service. Heat the specimens at a temperature not over 50°F (28°C) above the normal heat-treating temperature and for not over 50 % more than the normal heat-treating time and under normal heat-treating atmosphere, the normal values being those mutually agreed upon. The rate of cooling depends on the method of treatment. Make the microscopical examination in compliance with Table 1.

A3.2.1.2 *Carburizing Procedure (Carbon and Alloy Steels; Carbon Generally Below 0.25 %)*—This procedure is usually referred to as the McQuaid—Ehn Test. Unless otherwise specified, carburize the specimens at 1700 ± 25°F (927 ± 14°C) for 8 h or until a case of approximately 0.050 in. (1.27 mm) is obtained. The carburizing compound must be capable of producing a hypereutectoid case in the time and at the temperature specified. Furnace cool the specimen to a temperature below the lower critical at a rate slow enough to precipitate cementite in the austenite grain boundaries of the hypereutectoid zone of the case. When cool, section the specimen to provide a fresh-cut surface, polish, and suitably etch to reveal the grain size of the hypereutectoid zone of the case. Make a microscopical examination in compliance with Table 1. While

the McQuaid-Ehn test was designed for evaluating the grain growth characteristics of steels intended for carburizing applications, usually steels with <0.25 % carbon, it is frequently used to evaluate steels with higher carbon contents that will not be carburized. It must be recognized that the grain size of such steels when heat treated from austenitizing temperatures below 1700°F may be finer in size than that obtained by the McQuaid-Ehn test.

**A3.2.1.3 Mock Carburizing Procedure**—The heat treatment described in A3.2.1.2 is performed but a carburizing atmosphere is not used and the specimen must be quenched from the mock carburizing temperature at a rate fast enough to form martensite, rather than slowly cooled after carburizing. The specimen is sectioned (careful abrasive cut-off cutting is required to prevent burning), polished and etched with a reagent that will reveal the prior-austenite grain boundaries (such as saturated aqueous picric acid with a wetting agent, see Practice E 407). Mock carburizing is sometimes preferred because the depth of the carburized case produced by the McQuaid-Ehn test may be quite thin with some steels. With a mock carburized specimen, all of the grains on the cross section can be examined. Problems such as banded grain size, duplex or ALA grains (see Test Methods E 1181) are more easily detected with a mock carburized specimen due to the much greater surface area for examination.

**A3.2.1.4 Hypoeutectoid Steels (Carbon and Alloy Steels 0.25 to 0.60 % Carbon)**—Unless otherwise specified, heat specimens of steels with a carbon content of 0.35 % or less at  $1625 \pm 25^\circ\text{F}$  ( $885 \pm 14^\circ\text{C}$ ); heat specimens of steel with a carbon content of over 0.35 % at  $1575 \pm 25^\circ\text{F}$  ( $857 \pm 14^\circ\text{C}$ ) for a minimum of 30 min and cool in air or quench in water. The higher carbon steels in this range and alloy steels over approximately 0.40 % carbon may require an adjustment in cooling practice to outline clearly the austenite grain boundaries with ferrite. In such cases it is recommended that after holding the specimen for the required time at a hardening temperature, the temperature be reduced to approximately  $1340 \pm 25^\circ\text{F}$  ( $727 \pm 14^\circ\text{C}$ ) for 10 min, followed by water or oil quench. When cool, section the specimen to provide a fresh-cut surface, polish, and suitably etch to reveal the austenite grain size as outlined by precipitated ferrite in the grain boundaries. Make the microscopical examination in compliance with Table 1.

**A3.2.1.5 Oxidation Procedure (Carbon and Alloy Steels 0.25 to 0.60 % Carbon)**—Polish one of the surfaces of the specimen (approximately 400-grit or 15- $\mu\text{m}$  abrasive). Place the specimen with the polished side up in a furnace, and, unless otherwise specified, heat at  $1575 \pm 25^\circ\text{F}$  ( $857 \pm 14^\circ\text{C}$ ) for 1 h and quench in cold water or brine. Polish the quenched specimen to reveal the austenite grain size as developed in the oxidized surface. Make the microscopical examination in compliance with Table 1.

**A3.2.1.6 Direct Hardening Steels (Carbon and Alloy Steels; Carbon Generally Below 1.00 %)**—Unless otherwise specified, heat specimens of steels with a carbon content of 0.35 % or less at  $1625 \pm 25^\circ\text{F}$  ( $885 \pm 14^\circ\text{C}$ ); heat specimens of steels with a carbon content of over 0.35 % at  $1575 \pm 25^\circ\text{F}$  ( $857 \pm 14^\circ\text{C}$ ) for sufficient time and quench at a rate to produce full

hardening. Polish the quenched specimen and etch to reveal the martensitic structure. Tempering for 15 min at  $450 \pm 25^\circ\text{F}$  ( $232 \pm 14^\circ\text{C}$ ) prior to etching improves the contrast. Make the microscopical examination in compliance with Table 1.

**A3.2.1.7 Hypereutectoid Steels (Carbon and Alloy Steels; Carbon Generally Over 1.00 %)**—Use a specimen approximately 1 in. (25.4 mm) in diameter or 1 in. square for this test. Unless otherwise specified, heat the specimen at  $1500 \pm 25^\circ\text{F}$  ( $816 \pm 14^\circ\text{C}$ ) for a minimum of 30 min, and furnace cool to a temperature below the lower critical temperature at a rate slow enough to precipitate cementite in the austenite grain boundaries. When cool, section the specimen to provide a fresh-cut surface, polish, and suitably etch to reveal the austenite grain size as outlined by precipitated cementite in the grain boundaries. Make the microscopical examination in compliance with Table 1.

**A3.2.2 Austenitic Steels**—With austenitic materials, the actual grain size of the metal has been established by prior heat-treatment.

### A3.3 Revealing the Grain Size

**A3.3.1 Ferritic Steels**—For revealing austenite grain size the following methods (see Note A3.1) are generally used:

**A3.3.1.1 Outlining the Grains with Cementite**—In the hypereutectoid zone of a carburizing (McQuaid—Ehn test) procedure or in hypereutectoid steels cooled from the austenitic condition, the austenite grain size is outlined by the cementite which precipitated in the grain boundaries. It is therefore possible to rate the grain size by etching the micrographic specimen with a suitable etchant,<sup>10</sup> such as nital, picral, or alkaline sodium picrate.

**A3.3.1.2 Outlining the Grains with Ferrite**—In the hypoeutectoid zone of a carburized specimen, the austenite grain size is outlined by the ferrite that precipitated in the grain boundaries. Ferrite similarly outlines the former austenite grains in a medium-carbon steel (approximately 0.50 % carbon), when it has been cooled slowly from the austenite range. In low-carbon steels (approximately 0.20 % carbon), cooling slowly from the austenite range to room temperature, the amount of ferrite is so large that the former austenite grain size is masked; in this case, the steel may be cooled slowly to an intermediate temperature, to allow only a small amount of ferrite to precipitate, followed by quenching in water; an example would be a piece previously heated to  $1675^\circ\text{F}$  ( $913^\circ\text{C}$ ), transferred to a furnace at between  $1350$  to  $1450^\circ\text{F}$  ( $732$  to  $788^\circ\text{C}$ ), held at this temperature for perhaps 3 to 5 min, and then quenched in water; the austenite grain size would be revealed by small ferrite grains outlining low-carbon martensite grains.

**A3.3.1.3 Outlining the Grains by Oxidation**—The oxidation method depends on the fact that when steels are heated in an oxidizing atmosphere, oxidation takes place in part preferentially along the grain boundaries. A common procedure, therefore, is to polish the test specimen to a metallographic polish, heat it in air at the desired temperature for the desired length of time, and then repolish the specimen lightly so as merely to remove scale; whereupon the austenite grain boundaries are visible as outlined by oxide.

<sup>10</sup> See Practice E 407.

**A3.3.1.4 Outlining Martensite Grains with Fine Pearlite**—A method applicable particularly to eutectoid steels, which cannot be judged so readily by some other methods, is either to harden a bar of such a size that it is fully hardened at the outside but not quite fully hardened in the interior, or to employ a *gradient quench* in which the heated piece is for a portion of its length immersed in water and therefore fully hardened, the remainder of the piece projecting above the quenching bath, being therefore not hardened. With either method there will be a small zone which is almost but not quite fully hardened. In this zone, the former austenite grains will consist of martensite grains surrounded by small amounts of fine pearlite, thus revealing the grain size. These methods are also applicable to steels somewhat lower and higher than the eutectoid composition.

**A3.3.1.5 Etching of Martensite Grains**—The former austenite grain size may be revealed in steels fully hardened to martensite by using an etching reagent that develops contrast between the martensite grains. Tempering for 15 min at 450°F (232°C) prior to etching distinctly improves the contrast. A reagent that has been recommended is 1 g of picric acid, 5 mL of HCl (sp gr 1.19), and 95 mL of ethyl alcohol. An alternate approach is to use an etchant that reveals the prior-austenite grain boundaries preferentially. Many etchants have been developed for this purpose (see Practice E 407 and standard text books). The most successful consists of saturated aqueous picric acid containing a wetting agent, usually sodium tridecylbenzene sulfonate (the dodecyl version also works well). Specimens should be in the as-quenched condition or tempered not above about 1000°F. Success with this etchant depends upon the presence of phosphorus in the alloy ( $\geq 0.005\%$  P required). Results may be enhanced by tempering the steel between 850 and 900°F for 8 h or more to drive phosphorus to the grain boundaries. For steels with substantial alloy additions, it may be necessary to add a few drops of hydrochloric acid to the etchant (per 100 mL of etchant). Etching usually takes at least 5 min. The etchant will attack sulfide inclusions.

Lightly re-polishing the specimen on a stationary wheel to remove some of the unimportant background detail may make it easier to see the grain boundaries.

**A3.3.2 Austenitic Steels**—For revealing the grain size in austenitic materials, a suitable etching technique shall be used to develop grain size. Recognizing that twinning tends to confuse reading of grain size, the etching should be such that a minimum amount of twinning is evident.

**A3.3.2.1 Stabilized Material**—The specimen, as the anode, may be electrolytically etched in a water solution composed of 60 % concentrated nitric acid by volume, at ambient temperature. To minimize the appearance of twinning, a low voltage (1 to 1½ V) should be used. This etchant is also recommended for revealing ferrite grain boundaries in ferritic stainless steels and is used identically.

**A3.3.2.2 Unstabilized Material**—The grain boundary may be developed through precipitation of carbides by heating within the sensitizing temperature range, 482 to 704°C (900 to 1300°F). Any suitable carbide-revealing etchant should be used.

#### A3.4 Reporting the Grain Size

**A3.4.1 Ferritic Steels**—Duplex, or mixed grain-sized structure (see Test Methods E 1181) when observed, shall be reported with two representative ranges of grain size numbers. Whenever heat-treatments other than the carburizing (McQuaid—Ehn test) procedure are employed to develop austenite grain size, a complete report shall be made which includes:

A3.4.1.1 Temperature used in establishing the grain size,

A3.4.1.2 Time at temperature used in establishing the grain size,

A3.4.1.3 Method of revealing grain size, and

A3.4.1.4 Grain size.

**A3.4.2 Austenitic Steels**—In determining the size of austenitic grains, the twin boundaries within a grain shall not be counted.

### A4. FRACTURE GRAIN SIZE METHOD<sup>11</sup>

A4.1 The fracture grain size method, developed by Arpi (9), and Shepherd (2), employs a graded series of ten fractured specimens to estimate the prior-austenite grain size of steel specimens (see Footnote 11 for applicable materials) by comparison. Carburized cases of carbon and alloy steels may also be evaluated for prior-austenite grain size by this method (but not the low-carbon core).

A4.2 The ten fractured specimens are numbered from one to ten where the numbers correspond to ASTM grain size numbers. The sample to be rated is fractured, usually transverse to the hot working direction, and the fracture is compared

to the ten test fractures of the Shepherd series.<sup>12</sup> The fracture appearance of the specimen is rated to the nearest whole number of the standard, but interpolation to one-half numbers is permitted. It is also possible to rate duplex conditions when the fracture exhibits two different fracture patterns.

A4.3 Specimens can be fractured by striking the free end, while restraining the other end, or by three-point bending using a press, or a tensile machine (loaded in compression) or any other suitable method. Notching of specimens or refrigeration prior to fracturing, or both, helps to ensure a flat fracture. For further information see Vander Voort (10).

A4.4 The specimen to be rated must be predominantly

<sup>11</sup> This method is applicable only to high-hardness, brittle steels with a predominantly martensite microstructure, such as tool steels, high-carbon steels and martensitic stainless steels, and should be done with the specimen in the as-quenched or lightly tempered condition.

<sup>12</sup> For those individuals who do not possess a Shepherd standard series, a photographic reproduction is available from ASTM Headquarters. Order PCN 12-501124-23.

martensitic, although large amounts of retained austenite do not invalidate the results. Appreciable amounts of residual carbide are also permitted. However, diffusion controlled transformation products, such as bainite, pearlite, or ferrite, if present in amounts more than a few percent, change the nature of the fracture appearance and invalidate fracture grain size ratings. Excessive tempering of martensitic tool steel structures also alters the fracture appearance and invalidates fracture grain size ratings. Ratings are most accurate for as-quenched or lightly tempered specimens. Flat, brittle fractures are desired to obtain the best accuracy.

A4.5 Studies have shown that fracture grain size ratings of fully hardened, as-quenched tool steels correlate well with

microscopically measured prior-austenite grain size ratings. For most tool steels, the fracture grain size rating will be within  $\pm 1$  unit of the microscopically determined prior-austenite grain size number,  $G$ .

A4.6 The fracture grain size method cannot be used to rate grain sizes finer than ten. Fractures of specimens with prior-austenite grain sizes finer than ten cannot be discriminated by eye and will be rated as if they were a ten grain size. Fractures coarser than a grain size number of one will appear to be coarser than one but cannot be accurately rated by this method.

### A5. REQUIREMENTS FOR WROUGHT COPPER AND COPPER-BASE ALLOYS

A5.1 For wrought copper and copper-base alloy products under the jurisdiction of Committee B-5 on Copper and Copper Alloys, it is mandatory that the following procedures be followed:

A5.1.1 The specimen shall be prepared in accordance with Practice E 3.

A5.1.2 The specimen used for the comparison method shall be contrast etched, and compared with Plate III, or, if given a flat etch, compared with Plate II.

A5.1.3 The grain size shall be expressed as the average grain diameter in millimetres; for example, 0.025-mm average grain diameter. The meaning of this expression is the diameter of the average cross section of grains lying in the plane of the metal being examined.

A5.1.4 Mixed grain sizes (see Test Methods E 1181) are sometimes encountered, particularly in hot-worked metal. These shall be expressed by giving the estimated area percentages occupied by the two ranges of sizes. For example, 50 % of 0.015 mm; and 50 % of 0.070 mm; or, if a range exists, 40 % of 0.010 to 0.020 mm; and 60 % of 0.090 to 0.120 mm.

A5.1.5 For determining compliance of requirements for grain size with the specified limits, the estimated value shall be rounded in accordance with:

Grain Size	Calculated or Observed Value to Which Grain Size Should be Rounded
Up to 0.055 mm, incl	to the nearest multiple of 0.005 mm
Over 0.055 mm	to the nearest 0.010 mm

### A6. APPLICATION TO SPECIAL SITUATIONS

A6.1 Numerous specific practices for grain size measurement have become established in various segments of the metals and materials industries. The present listing of standard methods is not intended to imply that any such specific practice should be abandoned when experience has shown that practice to be adequate for the intended application. It is, however, strongly recommended that the statistical procedure of Section 15 be applied to the data from these traditional practices in order to ensure that they yield a confidence limit that is adequate for current requirements.

A6.2 It is characteristic of many special practices that they report a numerical result that is not conveniently related to commonly used size scales such as are shown in Table 4. Continued usage of the customary numbers is justified on the grounds that either they have inherent meaning in their own community, or that they have acquired meaning through long usage. It is, however, strongly recommended that such measurements be made comprehensible to a wider audience first by reexpression on one of the preferred metric scales (as used in Table 4), and then by conversion to the corresponding ASTM grain size numbers. Where the original measurements repre-

sent some form of intercept or planimetric count it may be said that the ASTM grain size number has in fact been determined. Where the original data are of a different nature, it should be stated that the measurement is equivalent to ASTM grain size No. "x". Conversions may be made either through Table 4 or through the relations shown in Annex A1 and Annex A2.

#### A6.3 Examples:

A6.3.1 *Example 1*—The Snyder and Graff procedure (11) remains in general usage for estimating the austenitic grain size of tool steels. This is a specific version of the Heyn intercept method (see 13.1) in which the reported number is the average number of intercepts with a 5-in. (127-mm) test line applied to an image at 1000X. This count is more immediately useful than the ASTM grain size number itself, as important changes of quality are associated with a change of about two ASTM size numbers, which difference is not well resolved on the logarithmic size scale or by comparison or planimetric methods. The Snyder and Graff size number will become meaningful to others by multiplying by the factor 7.874 to yield  $N_L$  per millimetre, after which Table 4 will indicate, for example, that S&G No. 15 is ASTM grain size No. 10.5. Furthermore, as the

precision of this practice does not attain 2 % of the count, the 5-in. (127-mm) test line could be replaced by a 125-mm test line without invalidating past records, making the multiplier 8.0, whereupon the total intercept count on eight test lines

equals  $N_L$  directly. The confidence limit evaluation in Section 15 can be applied to single test lines, or to totals on fixed numbers of lines in each local area.

APPENDICES

(Nonmandatory Information)

X1. RESULTS OF INTERLABORATORY GRAIN SIZE DETERMINATIONS<sup>13</sup>

X1.1 This interlaboratory test program was conducted to develop precision and bias estimates for the measurement of grain size by the chart comparison method, by the planimetric method, and by the intercept method.

X1.2 Procedure

X1.2.1 Photomicrographs (8 by 10 in.) of two different ferritic stainless steels, four of one specimen at different magnifications and three of the other specimen at different magnifications, were rated for grain size using the chart method with Plate I and by the planimetric and intercept methods. A drawing of the grain boundaries of a specimen of austenitic Hadfield's manganese steel, with a grain contrast etch, was also evaluated by all three methods. A number of other micrographs were rated only by the comparison method. In each case, the grain boundaries were clearly and fully delineated.

X1.2.2 For the planimetric method, each rater was given an 8 by 10 in. clear plastic template with five 79.8 mm diameter test circles and a grease pencil. For the intercept method, each rater was given a single three-circle template.

X1.2.3 For the planimetric method, the template was dropped onto the photograph and taped down to prevent movement. Because the circles grid and the micrograph were nearly the same size, grid placement should be rather consistent between raters. For the intercept method, the raters dropped their grid onto the micrograph five times at random. It was assumed that this difference in placement method would reduce the variability of the planimetric method relative to the intercept method.

X1.3 Results

X1.3.1 Figs. X1.1 and X1.2 show the grain size ratings for

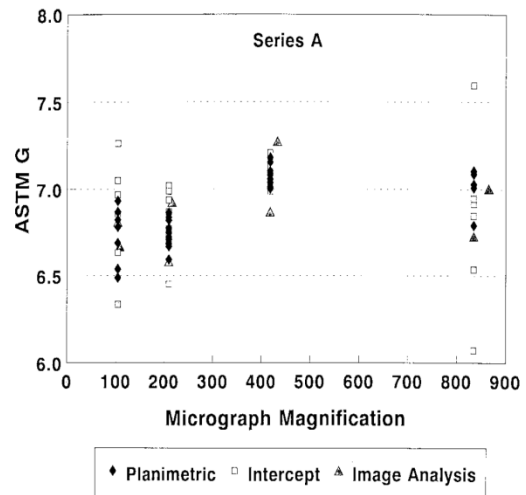


FIG. X1.1 Grain Size Measurements for the Series A Ferritic Stainless Steel Specimens

the two ferritic stainless steels, identified as Series A and B, as a function of the magnification of the micrographs, for the planimetric and intercept methods. Three people also made image analysis measurements of the images. As can be seen, the tightest spread occurred, for both sets of micrographs, at a magnification of about 400X where the average grain count per planimetric measurement was about 30 to 35 and the average number of intercepts or intercepts was about 40 to 50 per three-circle application.

X1.3.2 Figs. X1.3 and X1.4 show how the percent relative accuracy of the measurements varied with the number of grains counted, Fig. X1.3, and with the number of intercepts or intersections counted, Fig. X1.4. All of the measurement data are included. Note that a percent RA of 10 %, or less, is obtained when about 700 or more grains are counted by the

<sup>13</sup> Supporting data have been filed at ASTM Headquarters and may be obtained by requesting RR:E 04-1005.

TABLE X1.1 Results of ASTM Grain Size Round Robin (Planimetric Method)

Image	No./sq. mm	ASTM G	Average No.	Repeatability 95 % CL	Reproducibility 95 % CL	Repeatability % RA	Reproducibility % RA
A1	846.64	6.77	1918.0	106.11	266.56	12.53	31.49
A2	831.61	6.75	474.5	209.68	239.88	25.21	28.85
A3	1046.98	7.08	150.5	499.42	489.10	47.70	46.72
A4	978.49	6.98	35.5	785.07	765.18	80.23	78.20
B1	1054.12	7.09	608.5	342.21	344.35	32.46	32.67
B2	1069.41	7.11	152.5	464.60	452.27	43.44	42.29
B3	1184.01	7.26	41.5	435.21	403.98	36.76	34.12



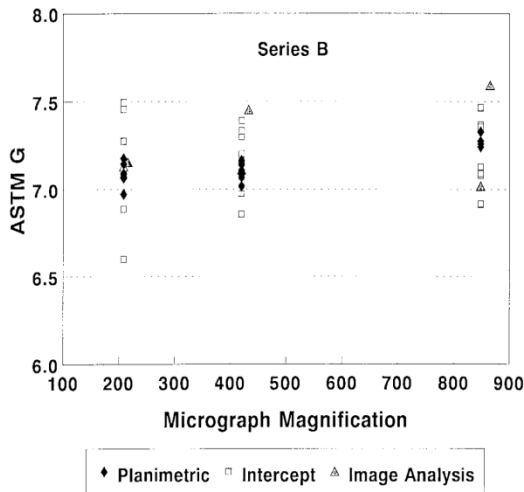
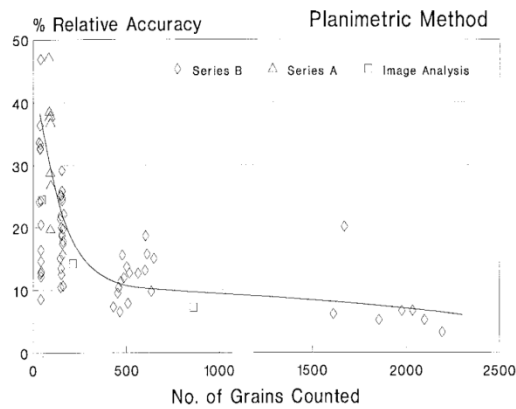
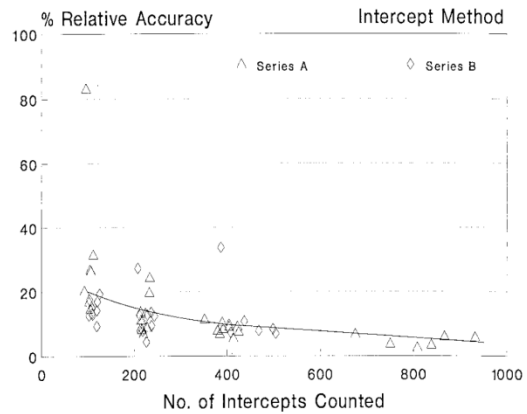


FIG. X1.2 Grain Size Measurements for the Series B Ferritic Stainless Steel Specimens



NOTE 1—The image analysis results for the same micrographs.  
 FIG. X1.3 Relationship Between the Number of Grains Counted and the Percent Relative Accuracy for the Planimetric Method

planimetric method and when about 400 grain boundary intersections or grain intercepts are counted for the intercept method. Because the grains must be marked off on the template as they are counted to ensure counting accuracy in the



NOTE 1—The image analysis results for the same micrographs.  
 FIG. X1.4 Relationship Between the Number of Intercepts or Intersections Counted and the Percent Relative Accuracy for the Intercept Method

planimetric method, while marking is not needed for the intercept method, it is clear that the intercept method is a more efficient method.

X1.3.3 Tables X1.1 and X1.2 list the results of the analysis of repeatability and reproducibility according to Practice E 691. In general, the intercept method outperformed the planimetric method in this study.

X1.3.4 Fig. X1.5 shows a plot of the planimetric versus the intercept grain size rating for each micrograph by each rater. Note that the data are scattered at random around the one-to-one trend line. This indicates that there was no bias in the grain size measurements by either method.

X1.3.5 Each micrograph that was rated for grain size could be considered in two ways, first as a rating for the true magnification of the micrograph and second for a rating as if the micrograph was at 100X. For evaluation of the comparison method, it was assumed that each micrograph was at 100X. The intercept and planimetric data were also computed using this assumption. Figs. X1.6 and X1.7 show plots of the chart comparison ratings versus the planimetric and intercept ratings, assuming all micrographs were at 100X. Note that the data are not scattered at random around the one-to-one trend line. This clearly shows that bias is occurring in the chart comparison ratings, which were typically 0.5 to 1 G unit lower, that is, coarser, than the planimetric or intercept measurements. The source of this bias is under study.

TABLE X1.2 Results of ASTM Grain Size Round Robin (Intercept Method)

Image	$\bar{r}$ ( $\mu\text{m}$ )	ASTM G	Average Intercepts	Repeatability 95 % CL	Reproducibility 95 % CL	Repeatability % RA	Reproducibility % RA
A1	29.9	6.84	811.5	3.25	9.37	10.87	31.35
A2	29.8	6.85	396.0	5.65	6.33	18.96	21.24
A3	27.2	7.11	222.5	8.28	8.16	30.43	30.00
A4	29.0	6.93	102.0	14.90	16.46	51.37	56.77
B1	26.1	7.23	450.0	4.96	7.96	19.01	30.51
B2	26.7	7.17	223.5	6.19	7.01	23.20	26.26
B3	26.6	7.18	113.0	8.84	9.86	33.24	37.08

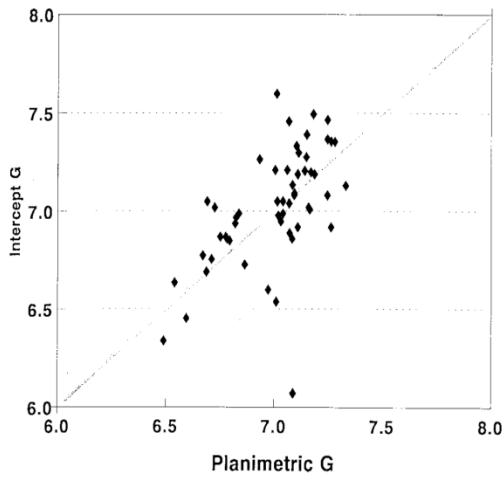


FIG. X1.5 Comparison of the Grain Size Measurements for Each Micrograph by Each Operator by the Planimetric and Intercept Methods

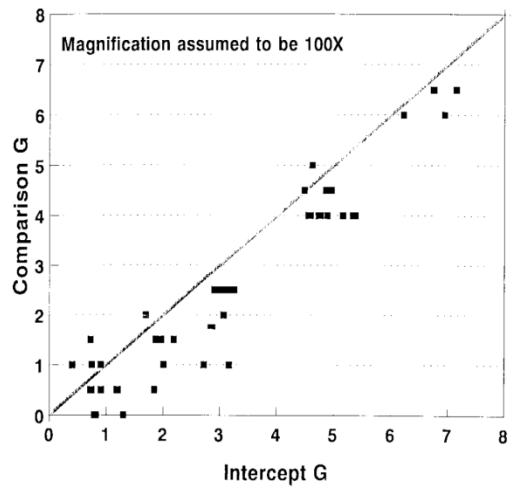
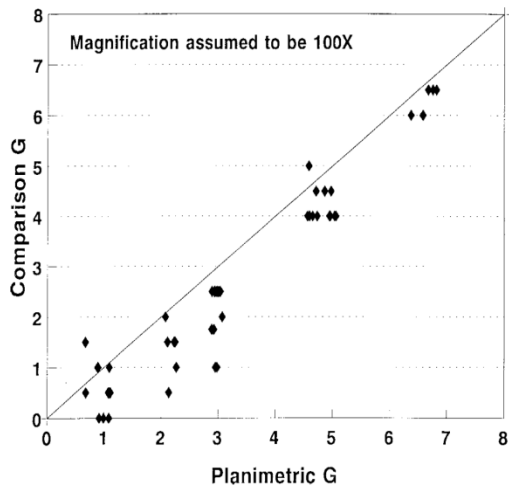


FIG. X1.7 Plot of the Comparison Chart Grain Size Ratings for Each Micrograph Versus the Intercept Method Rating for Each Micrograph



NOTE 1—Chart plots by each rater and assumes the micrographs are at 100X magnification. The data generally fall to one side of the one to one trend line indicating a bias.

FIG. X1.6 Plot of the Comparison Chart Grain Size Ratings for Each Micrograph Versus the Planimetric Method Rating for Each Micrograph

## X2. REFERENCED ADJUNCTS

X2.1 The following is a complete and updated list of adjuncts referenced in Test Methods E 112. All adjuncts are available from ASTM.

	Adjunct:	Order Adjunct:	Adjunct:	Order Adjunct:
Combination of 23 Components		ADJE011223	Transparency, Grain Size 1.0	ADJE011208
Combination of Plates I, II, III, and IV		ADJE011214	Transparency, Grain Size 1.5	ADJE011209
Plate I only		ADJE011201	Transparency, Grain Size 2.0	ADJE011210
Plate II only		ADJE011102	Transparency, Grain Size 2.5	ADJE011211
Plate III only		ADJE011203	Transparency, Grain Sizes 3.0, 3.5, and 4.0	ADJE011212
Plate IV only		ADJE011204	Transparency, Grain Sizes 4.5, 5.0, and 5.5	ADJE011213
Combination Transparencies, (Plate I) 00 through 10		ADJE112010	Transparency, Grain Sizes 6.0, 6.5, and 7.0	ADJE011214
Transparency, Grain Size 00		ADJE011205	Transparency, Grain Sizes 7.5, 8.0, and 8.5	ADJE011215
Transparency, Grain Size 0		ADJE011206	Transparency, Grain Sizes 9.0, 9.5, and 10.0	ADJE011216
Transparency, Grain Size 0.5		ADJE011207	Adjunct:	Order ADJ:
			Fig. 5 only	E0011217
			Adjunct:	Order ADJ:
			Shepherd Series Reproduction	ADJE011224

## REFERENCES

- (1) Hull, F. C., *Transactions*, "A New Method for Making Rapid and Accurate Estimates of Grain Size," American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Vol 172, 1947, p. 439.
- (2) Shepherd, B. F., "The P-F Characteristic of Steel," *Transactions*, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Vol 22, December 1934, pp. 979–1016.
- (3) Jeffries, Z., Kline, A. H., and Zimmer, E. B., "The Determination of the Average Grain Size in Metals," *Transactions*, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Vol 54, 1917, pp. 594–607.
- (4) Heyn, E., "Short Reports from the Metallurgical Laboratory of the Royal Mechanical and Testing Institute of Charlottenburg," *Metallographist*, Vol 5, 1903, pp. 37–64.
- (5) Underwood, E. E., and Coons, W. C., "The Role of Quantitative Stereology in Deformation Twinning," *Deformation Twinning*, Gordon and Breach, New York, 1965, pp. 405–429.
- (6) Hilliard, J., "Estimating Grain Size by the Intercept Method," *Metal Progress*, Vol 85, May 1964.
- (7) Abrams, H., "Grain Size Measurement by the Intercept Method," *Metallography*, Vol 4, 1971, pp. 59–78.
- (8) Mendelson, M. I., "Average Grain Size in Polycrystalline Ceramics," *J. American Ceramic Society*, Vol 52, August 1969, pp. 443–446.
- (9) Arpi, R., "The Fracture Test as Used for Tool Steel in Sweden," *Metallurgia*, Vol 11, No. 65, March 1935, pp. 123–127.
- (10) Vander Voort, G. F., "Grain Size Measurement," *Practical Applications of Quantitative Metallography*, ASTM STP 839, 1984, pp. 85–181.
- (11) Snyder, R. W., and Graff, H. F., "Study of Grain Size in Hardened High Speed," *Metal Progress*, Vol 33, 1938, pp. 377–380.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*