



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA

“INFLUENCIA DEL COBRE EN LA OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN
NODULAR PARA ALCANZAR EL GRADO 65-45-12 BAJO LA NORMA NTE
INEN 2499-2009 EN LA EMPRESA FUNDI LASER.”

AUTOR: Marco Antonio Naranjo Tirado.

TUTOR: Ing. Mg. Juan Paredes.

AMBATO – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “INFLUENCIA DEL COBRE EN LA OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR PARA ALCANZAR EL GRADO 65-45-12 BAJO LA NORMA NTE INEN 2499-2009 EN LA EMPRESA FUNDI LASER.”, desarrollado por el estudiante Marco Antonio Naranjo Tirado, portador de la cédula de ciudadanía: 1804455945, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, 27 de julio de 2018

.....
DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Mg. Juan Paredes.

AUTORÍA DE TRABAJO

Yo, Marco Antonio Naranjo Tirado con CI. 1804455945 que las actividades y tareas para la obtención de resultados en el presente Trabajo de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico con el tema: “INFLUENCIA DEL COBRE EN LA OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR PARA ALCANZAR EL GRADO 65-45-12 BAJO LA NORMA NTE INEN 2499-2009 EN LA EMPRESA FUNDI LASER.”, es exclusivamente auténticos personales y son de absoluta responsabilidad del autor, a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentra citadas en el trabajo de investigación.

Ambato, 27 de julio de 2018

.....

Sr. Marco Antonio Naranjo Tirado.

CI. 1804455945

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigaciones según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos del autor

Ambato, 27 de julio de 2018

.....

Sr. Marco Antonio Naranjo Tirado.

CI. 1804455945

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Marco Antonio Naranjo Tirado de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “INFLUENCIA DEL COBRE EN LA OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR PARA ALCANZAR EL GRADO 65-45-12 BAJO LA NORMA NTE INEN 2499-2009 EN LA EMPRESA FUNDI LASER”

Ambato, 27 de julio de 2018

Para constancia firman:

Ing. Mg Henry Vaca

Ing. Mg Cristian Castro

DEDICATORIA

A mi hijo Christian y esposa Valeria que son los pilares importantes para poder alcanzar mis metas, brindándome su amor y fuerza para poder seguir adelante a pesar de las adversidades en mi vida estudiantil, familiar y laboral.

A mis padres Marco y Paulina por guiarme y apoyarme en toda mi carrera estudiantil apoyándome en los momentos de dudas y tropiezos para poder alcanzar mis metas sobre todas las cosas.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Marco y Paulina por guiarme y apoyarme en toda mi carrera estudiantil apoyándome en los momentos de dudas y tropiezos para poder alcanzar mis metas sobre todas las cosas.

A mi esposa Valeria por ser el apoyo incondicional en todo momento y por creer en mí en los momentos más difíciles de mi vida universitaria.

A la Universidad Técnica de Ambato por darnos todos los medios para poder desarrollar las bases de nuestra vida profesional y a todos los Ingenieros de la Facultad de Ingeniería Mecánica en especial al Ing. Mg Juan Paredes quien me supo guiar para desarrollar mi tema de tesis.

A Norma y Patricio quienes me permitieron desarrollar mi tema de investigación en su empresa y me han apoyado en todo aspecto de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DE TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICAS	XIV
RESUMEN EJECUTIVO	XV
EXACUTIVE SUMMARY	XVI
CAPÍTULO I.....	1
1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL:	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.4. OBJETIVOS	2
1.4.1. Objetivo general:	2
1.4.2. Objetivos específicos:	3
CAPÍTULO II	4
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1.1. Historia	4
2.1.2. Familia de fundición nodular	5
2.1.3. Influencia del cobre	7
2.1.4. Composición	8

2.1.5.	Norma NTE 2499-2009	8
2.1.6.	Tracción	9
2.1.7.	Microestructura	11
2.1.8.	Dureza	12
2.1.9.	Espectrometría	14
2.1.10.	Fractografía	15
2.2.	HIPÓTESIS	15
2.3.	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	15
2.3.1.	Variable independiente	15
2.3.2.	Variable dependiente	15
CAPÍTULO III.		16
3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	16
3.1.1	Descriptiva	16
3.1.2	Exploratoria	16
3.1.3	Correlacional	16
3.1.4	Experimental	16
3.1.5	Explicativa	16
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	17
3.2.1	Población	17
3.2.2	Muestra	17
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	17
3.3.1	Variable independiente:	17
3.3.2	Variable dependiente:	18
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	19
3.4.1	Observación	19
3.4.2	Documentación	19

3.5	PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	19
	CAPÍTULO IV.....	20
4.1.	PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	20
4.1.1.	Determinación de porcentajes de cobre.	21
4.1.2.	Parámetros de fundición.	21
4.1.3.	Determinación de probetas para el ensayo de tracción.	21
4.1.4.	Tabulación y recolección de datos de tracción	23
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
4.3.	ENSAYO DE ESPECTOMETRÍA.....	40
4.3.1.	Proceso de ensayo de espectometría.	40
4.3.2.	Tabulación de resultados.....	41
4.4.	ENSAYO DE DUREZA.....	43
4.4.1.	Proceso de ensayo de dureza.	43
4.4.2.	Tabulación de resultados.....	45
4.5.	ENSAYO DE MICROESTRUCTURA.....	49
4.5.1.	Proceso para realizar el ensayo de microestructura:.....	49
4.5.2.	Tabulación de resultados.....	50
4.6.	ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA	63
4.6.1.	Proceso para realizar el ensayo de fractografía:.....	63
4.6.2.	Tabulación de resultados.....	65
4.7.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	67
	CAPÍTULO V	73
5.1.	CONCLUSIONES	73
5.2.	RECOMENDACIONES	74
	BIBLIOGRAFÍA	75
	ANEXOS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Estructura micrográfica típica de un hierro nodular ferrítico. [4]	5
Figura 2. 2 Estructura micrográfica típica de un hierro nodular ferrítico-perlítico. [4]	5
Figura 2. 3 Diagrama de fases Hierro – Cobre. [3].....	8
Figura 2. 4 Tipos de probetas para ensayo a tracción normalizados - Cotas. [6]	9
Figura 2. 5 Tipos de probetas para ensayo a tracción normalizados. [6].....	10
Figura 2. 6 Esquema del aparato utilizado para realizar ensayos de tracción. [7]....	10
Figura 2. 7 Microestructura de un acero con 0,20 % C (x 200): a) después de la deformación plástica; b) después de la recristalización. [7]	11
Figura 2. 8 Método de designación de la ubicación del área mostrada en fotomicrografía. [8].....	12
Figura 4. 1 Bloque de quilla para probetas de ensayo a tracción. [5]	22
Figura 4. 2 Colado de material en modelo de probeta de hierro nodular.....	22
Figura 4. 3 Horno de inducción.	22
Figura 4. 4 Parámetros para interpretación de datos.	38
Figura 4. 5 Corte de probetas.	40
Figura 4. 6 Máquina OLIMPUSX.	40
Figura 4. 7 Probeta Acero A 316.	41
Figura 4. 8 Puesta en funcionamiento de máquina OLIMPUS.....	41
Figura 4. 9 Ensayo en máquina OLIMPUS.	41
Figura 4. 10 Durómetro ERNSL.	44
Figura 4. 11 Probeta de Calibración.	44
Figura 4. 12 Ensayo en 5 puntos.	44
Figura 4. 13 Corte de probetas.	49

Figura 4. 14 Máquina de encapsulado.	49
Figura 4. 15 Probeta encapsulada sin pulir.	50
Figura 4. 16 Probeta pulida y atacada con nital 2.	50
Figura 4. 17 Microscopio del Laboratorio de Ingeniería Mecánica.....	50
Figura 4. 18 Montado de probetas.	63
Figura 4. 19 Microscopio de barrido.....	63
Figura 4. 20 Montaje de probetas en microscopio de barrido.....	63
Figura 4. 21 Imagen de tipo de fractura del Metal Hadbook.	64
Figura 4. 22 Fotografía del ensayo de fractografía.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Composición química de los tipos de hierros dependiendo de su espesor. [5]	8
Tabla 2. 2 Requerimientos de tensión. [5]	9
Tabla 2. 3 Técnica de ensayo de dureza. [7]	13
Tabla 2. 4 Escalas de dureza Rockwell. [7]	13
Tabla 2. 5 Escalas de dureza Rockwell superficial. [3]	13
Tabla 3. 1 Tamaño de muestra de investigación.	17
Tabla 3. 2 Variable independiente	17
Tabla 3. 3 Variable dependiente.....	18
Tabla 4. 1 Composición y número de probetas a realizarse.....	21
Tabla 4. 2 Medidas de probetas estandarizadas. [6].....	23
Tabla 4. 3 Resumen de ensayo a tracción realizados en las probetas del 0 % de Cu a 0.05 % Cu.....	35
Tabla 4. 4 Promedios de grupos de ensayo a tracción.	35
Tabla 4. 5 Ponderación de resultados.....	37
Tabla 4. 6 Rangos de 60-45-12 Norma NTE INEN 24-99. [5].....	39
Tabla 4. 7 Datos base para la verificación de la hipótesis de resistencia a la tracción.	68
Tabla 4. 8 Datos base para la verificación de la hipótesis con el límite de fluencia. 70	
Tabla 4. 9 Datos base para la verificación de la hipótesis con el % Elongación	71

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4. 1 Comparación de resistencia a la tracción desde el 0 % al 5 % de cobre.	36
Gráfica 4. 2 Comparación de límite de fluencia desde el 0 % al 5 % de cobre.	36
Gráfica 4. 3 Comparación de % de elongación desde el 0 % al 5 % de cobre	37
Gráfica 4. 4 Comparación de propiedades entre el grupo de 0.02 % de Cu con el grado 60-45-12.	39
Gráfica 4. 5 Gráfica T-Student. resistencia a la tracción.	69
Gráfica 4. 6 Gráfica T-Student límite de fluencia.....	71
Gráfica 4. 7 Gráfica T-Student % Elongación.	72

RESUMEN EJECUTIVO

INFLUENCIA DEL COBRE EN LA OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR PARA ALCANZAR EL GRADO 65-45-12 BAJO LA NORMA NTE INEN 2499-2009 EN LA EMPRESA FUNDI LASER.

Autor: Marco Antonio Naranjo Tirado

Tutor: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas

El trabajo de investigación se realizó para analizar la influencia del cobre desde el 0.01 % de cobre al 0.05 % de cobre y poder determinar cuál de estos porcentajes puede llegar al grado 60-45-12 de la norma NTE INEN 2499 la cual determina el rango según sus propiedades mecánicas de Resistencia a la tracción, Limite de Fluencia y Porcentaje de elongación.

Se elaboraron las probetas de hierro nodular más cobre para realizar el ensayo de tracción bajo la norma ASTM E-8, una vez evaluadas las propiedades mecánicas se determinó que con el 0.02 % de cobre se llegó a cubrir el grado 60-45-12.

Se realizó los ensayos de espectometría, dureza, microestructura y fractografía en la muestra con el 0.02 % de cobre para observar las características del material.

Con los análisis se obtuvo una resistencia a la tracción de 739.85 MPa, un Límite de Fluencia de 313.57 MPa, 12.82 de Porcentaje de Elongación, una dureza de 202 Brinell, tamaño de grano nodular grande 100 μm , grano mediano de 94.05 μm y grano pequeño de 66.91 μm y al analizar la fractografía se observó una fractura frágil que ocurre antes o durante el momento en que se presenta una deformación plástica, la fractura se presenta en materiales no cristalinos y aplicación de esfuerzos muy elevados .

Palabras Clave: Hierro nodular, Cobre, Propiedades Mecánicas, Ensayos.

EXACUTIVE SUMMARY

INFLUENCE OF COPPER IN THE OBTAINING OF NODULAR FOUNDRY TO ACHIEVE GRADE 65-45-12 UNDER NORMA NTE INEN 2499-2009 AT THE FUNDI LASER COMPANY.

Author: Marco Antonio Naranjo Tirado

Tutor: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas

The research work was carried out to analyze the influence of copper from 0.01% copper to 0.05% copper and to determine which of these percentages can reach the 60-45-12 degree of the NTE INEN 2499 standard which determines the range according to its mechanical properties of Tensile Strength, Fluency Limit and Elongation Percentage. The specimens of nodular iron plus copper were made to perform the tensile test under the ASTM E-8 standard, once the mechanical properties were evaluated, it was determined that with the 0.02% copper the grade was reached 60-45-12.

The spectrometry, hardness, microstructure and fractography tests were carried out on the sample with 0.02% copper to observe the characteristics of the material.

With the analyzes was obtained a tensile strength of 739.85 MPa, a Fluence Limit of 313.57 MPa, 12.82 Elongation Percentage, a hardness of 202 Brinell, large nodular grain size 100 μm , medium grain of 94.05 μm and small grain of 66.91 μm and when analyzing the fractography a fragile fracture was observed that occurs before or during the moment in which plastic deformation occurs, the fracture occurs in non-crystalline materials and application of very high stresses.

Keywords: Nodular iron, Copper, Mechanical Properties, Tests.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL:

INFLUENCIA DEL COBRE EN LA OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR PARA ALCANZAR EL GRADO 65-45-12 BAJO LA NORMA NTE INEN 2499-2009 EN LA EMPRESA FUNDI LASER.

1.2. ANTECEDENTES

En la investigación “Desgaste y Propiedades Mecánicas del Hierro Nodular Modificado con Cobre” presentado por J. Ramos, V. Gil, A. F. Torres, se utilizaron tres porcentajes de cobre, residual, 0.5 % y 1.2 %, los resultados fueron satisfactorios en las probetas que se añadió menos del 2 % de cobre y al pasar del 3 a 3.5 % por encima del límite superior los resultados no variaron en las propiedades mecánicas de la aleación, el cobre aumento la resistencia a la tracción, dureza y micro estructuralmente se aumentó el porcentaje de perlita, todos estas mejoras se presentaron sin necesidad de un tratamiento térmico previo. [1]

En la investigación “Influencia de la relación de composición de manganeso y cobre sobre las propiedades mecánicas y el rendimiento de mecanizado del hierro dúctil” presentado por la Revista India de Ingeniería y Ciencias de los Materiales, se realizó una aleación Mg- Cu con los porcentajes de Mg del 0.2 al 1.1 % y el cobre del 0.03 al 1 %, el manganeso y el cobre se deben regular en cantidades apropiadas para tener efecto en las propiedades de resistencia y plasticidad, el cobre tubo influencia en la formación de perlita, además fue beneficiosa para estabilizar la austenita súper enfriada y aumentar la velocidad con la que se cierra la capa de austenita lo que permite la forma esferoidal en el grafito característica principal del hierro dúctil. [2]

El trabajo investigativo “Influencia del cobre en la transformación gamma-alfa en la fundición gris y nodular – templabilidad” de Samuel Rosario F., concluyó que, el cobre tiene baja velocidad de difusión por lo que se retiene fácilmente en su forma sobresaturada en la austenita y en la ferrita, durante el proceso de enfriamiento el

carbono y cobre se transforma en perlita y en condiciones adecuadas se llega a una aleación hierro-carbono-cobre conteniendo más de 0.7 % de cobre, al modelar las piezas en arena verde y dejarlas enfriar naturalmente se consiguió que el límite del cobre es de 3.5 % pasando este porcentaje ya no tiene efecto sobre las propiedades mecánicas, por el contrario bajo el 3.5 % tiene una mejora una mejora significativa en la resistencia y dureza. [3]

1.3. JUSTIFICACIÓN

La empresa Fundi Laser es una de las primeras siderúrgicas del Tungurahua que se maneja con fundición por horno de inducción, por lo que con la modernización en sus procesos de fabricación se mejora la calidad de sus productos, para el crecimiento de la empresa se necesita, que su producto esté acreditado por el INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN), por lo que el proyecto ayudará a definir mediante un proceso de experimentación que con pequeñas cantidades de cobre en el hierro nodular mejorara sus propiedades como resistencia, límite de fluencia y porcentaje de alargamiento que son necesarios para poder cumplir con las exigencias que requiere la normativa NTE INEN 2499:2009, esto permitirá que la empresa tenga un material certificado y a su vez poder definir los porcentajes exactos de cobre para llegar al grado 65-45-12 de la norma, esto permitirá ser competitivos tanto a nivel local como nacional e internacional.

La factibilidad de desarrollar este proyecto es alta ya que la Empresa Fundi Laser proveerá con las diferentes composiciones de probetas para poder realizar los diferentes ensayos y con el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica se podrán realizar todos los ensayos que indica la norma ASTM.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general:

Determinar la influencia del cobre en la obtención de fundición nodular para alcanzar el grado 65-45-12 bajo la norma NTE INEN 2499-2009 en la empresa Fundi Laser.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Identificar la influencia del cobre en porcentajes adecuados para mejorar las propiedades mecánicas en el hierro nodular.
- Realizar los ensayos de tracción, dureza, microestructura, espectrometría, en las probetas de hierro nodular cobre y fractografía en la de mejor composición.
- Comparar los resultados de cada probeta con los de la norma NTE INEN 2499-2009 y definir en el grado al que corresponden.
- Definir la cantidad exacta de cobre para llegar al grado 65-45-12.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Historia

El hierro nodular o fundición con grafito esferoidal, fue desarrollado por primera vez en Julio de 1946 por H. Morrogh en la British Cast Iron Research Association de Inglaterra, se utilizó elemento cerium como agente nodulizante, para la formación directa de los nódulos de grafito en el líquido. Debido a sus costos altos y problemas de control en el proceso de obtención nunca se manejó en la industria.

La International Nickel Company, intentó sustituir el cromo por magnesio debido a su escases y grandes explosiones, este elemento es un estabilizador de los carburos en los Ni-Hard, se pudo eliminar las reacciones violentas por completo al introducir el magnesio disuelto en níquel, permitiendo así ser incorporado al líquido sin el menor inconveniente, esto genero un método seguro para la formación de nódulos de grafito. A esta nueva tecnología se la denominó como Ductile Iron, siendo introducida al mercado en marzo del 1947 y atribuyéndole a K. Millies como el co-inventor del hierro dúctil o nodular.

El hierro nodular se diferencia del gris por su composición química esta debe contener un bajo porcentaje de azufre, y recibir la agregación de magnesio cuando está en estado líquido. Este modifica sensiblemente la forma que asume el grafito al precipitarse durante su solidificación. A diferencia del hierro gris (donde forma escamas), en el hierro nodular el grafito forma esferoides, que es la principal razón en la diferenciación de sus propiedades mecánicas. [4]

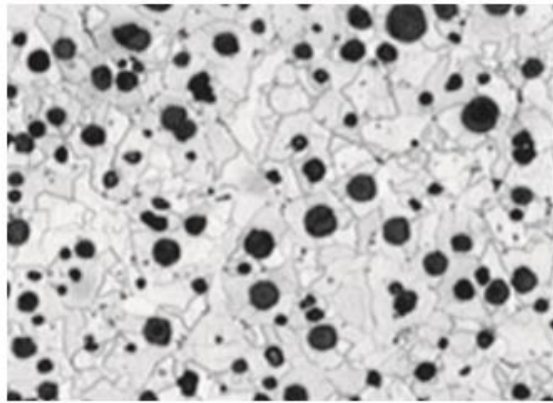


Figura 2. 1 Estructura micrográfica típica de un hierro nodular ferrítico. [4]

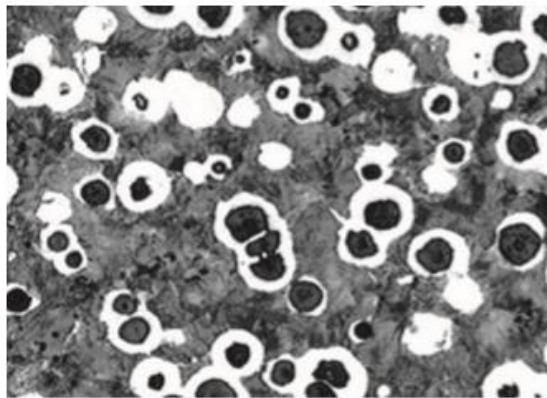


Figura 2. 2 Estructura micrográfica típica de un hierro nodular ferrítico-perlítico. [4]

2.1.2. Familia de fundición nodular

La familia de hierros fundidos que contiene grafito se distribuye en forma de nódulos, con su principal diferencia el tipo de micro-estructura que presenta su matriz se clasifica en:

Nodular ferrítica: Está conformada por esferoides de grafito en una matriz de ferrita de muy alta ductilidad y resistencia al impacto y con una resistencia a la tracción equivalente a la del acero bajo en carbono.

Nodular ferrítica-perlítica: Es el grado más común dentro de los hierros dúctiles y está conformado por esferoides de grafito en una matriz de ferrita + perlita en proporciones variables, que van desde bajos porcentajes de perlita hasta bajos porcentajes de ferrita.

Nodular perlítica: Está formada por esferoides de grafito en una matriz de estructura totalmente perlítica. Estas estructuras poseen alta resistencia mecánica, buena

resistencia al desgaste, ductilidad y resistencia moderada al impacto, con una maquinabilidad superior a la de los aceros, y con propiedades físicas comparables.

Nodular martensítica: La formación de estructura martensita se obtiene mediante el tratamiento térmico de temple y revenido, el cual consiste en un calentamiento previo, hasta lograr la formación de austenita. Sometida a un rápido enfriamiento, que dependerá del tamaño de la pieza, se formará martensita alfa, una estructura inestable, muy dura y frágil, que, con un revenido posterior a una temperatura determinada, se transformará en martensita beta, donde la dureza obtenida dependerá de la temperatura de revenido. Esto permite el desarrollo de una muy alta resistencia mecánica y al desgaste, pero con niveles más bajos de ductilidad y tenacidad.

Nodular bainítica: Al igual que la anterior, mediante la incorporación de diferentes elementos aleantes, se obtiene este material por tratamiento del tipo isotérmico, lográndose muy buenas propiedades de tenacidad y resistencia al desgaste. Sin embargo, este tipo de material está siendo reemplazado en la actualidad por las fundiciones ADI y CADI que se describen más adelante.

Nodular austenítica: Se trata de un hierro dúctil aleado para producir una matriz totalmente austenítica, que ofrece una buena resistencia a la oxidación y a la corrosión, y buena resistencia y estabilidad dimensional a temperaturas elevadas.

ADI: Es la denominación por sus siglas en inglés, las que significan Austempered Ductile Iron, es decir, fundición de hierro nodular austemperada. Este material, si bien tiene como base un hierro nodular de muy buena calidad, es el miembro más reciente incorporado a la familia de los hierros nodulares. Con sus cinco diferentes tipos depende de propiedades mecánicas y niveles de resistencia con porcentajes de alargamiento impensables años atrás.

CADI: Sus siglas en inglés, significan Carbide Austempered Ductile Iron, es decir, fundición de hierro nodular austemperada similar al ADI, pero con carburos en su estructura. Este material tiene como base a un hierro nodular de muy buena calidad. Su matriz es similar a la de las ADI, pero en su estructura se observa la presencia de carburos muy duros y resistentes al desgaste, junto a la ausferrita, que se obtiene a través del mismo tratamiento térmico que el descrito para las ADI. [4]

2.1.3. Influencia del cobre

El cobre es un promotor de la perlita, y aumenta sustancialmente la fuerza de fundición a través de la formación de perlita y es aproximadamente dos veces más estabilizador de perlita que el manganeso. El cobre imparte cierta dureza al hierro dúctil, pero es significativamente más eficaz en combinación con el molibdeno. Se ha informado que el cobre en cantidades mayores (más del 2%) inhibe la formación de nódulos de grafito y aumenta la presencia de grafito en escamas. El consenso general es que el contenido de cobre debe ser inferior al 0,03% si se desea una matriz totalmente ferrítica. Los hierros dúctiles que contienen menos del 0,5% de cobre pueden ser completamente ferríticos por enfriamiento controlado a través del rango crítico. Para el hierro dúctil que contiene más de 0.5% de cobre, es necesario un recocido subcrítico, después de enfriarse lentamente a través del rango crítico, para obtener una matriz completamente ferrítica. En cantidades superiores al 0,5%, el cobre aumenta la cantidad de perlita en la transformación. Sin embargo, la mayoría de los autores coinciden en que, aunque el cobre promueve la perlita, no existen grandes problemas para eliminar la perlita a través del recocido. [5]

La solubilidad de cobre en el hierro gamma de acuerdo con el diagrama de fases Hierro-Cobre es aproximadamente 8,0% a 1094°C y disminuye al 3,0% la temperatura eutectoide de 835°C aproximadamente. [3]

La baja velocidad de difusión del cobre, este elemento es fácil de retener en forma de solución sobresaturada en la austenita y en la ferrita. [3]

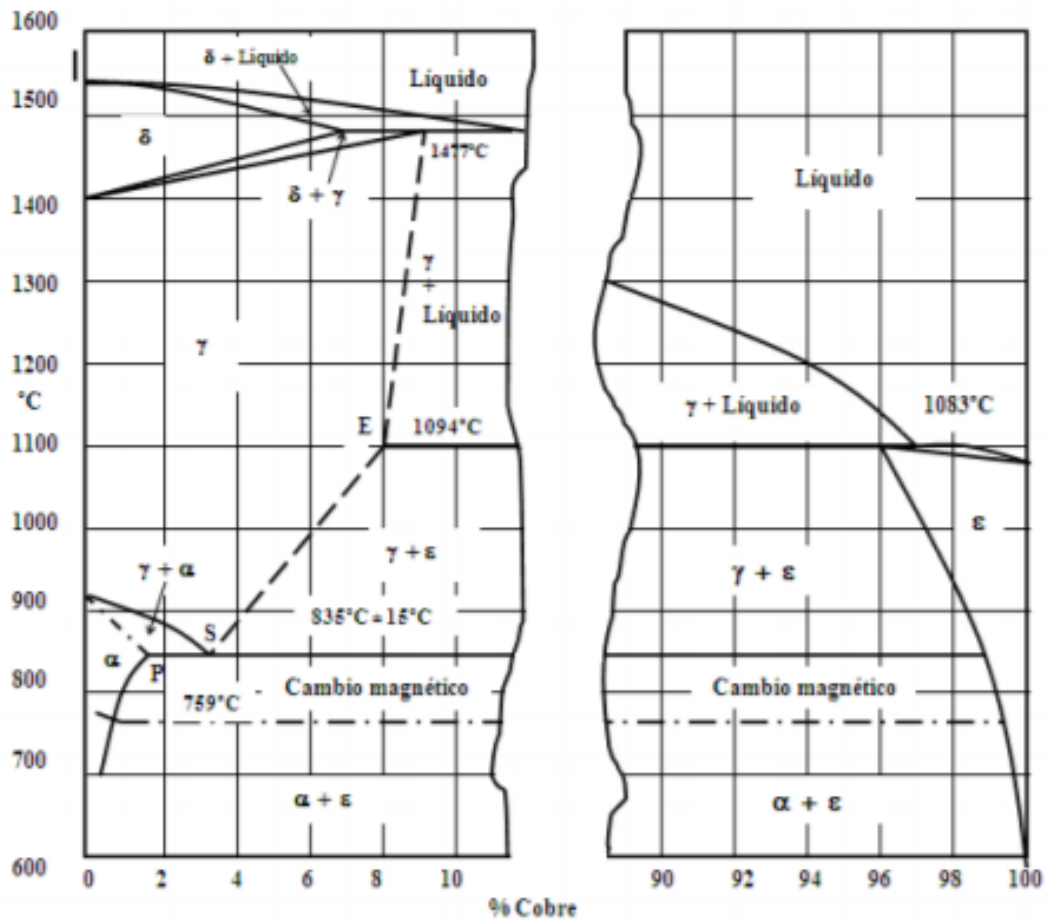


Figura 2. 3 Diagrama de fases Hierro – Cobre. [3]

2.1.4. Composición

La composición del hierro nodular se indica en la siguiente tabla. [5]

Tabla 2. 1 Composición química de los tipos de fierros dependiendo de su espesor. [5]

Composición (%)	GRADO				
	42-10	45-12	55-06	70-03	90-02
Carbono (C)	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6	> 3.4
Silicio (Si)	1,3 - 2,4	1,3 - 2,4	1,3 - 2,4	1,1 - 2,2	1,1 - 2,2
Manganeso (Mn)	0,2 - 0,4	0,3 - 0,6	0,5 - 0,7	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8
Magnesio (Mg)	0,02 - 0,08	0,02 - 0,08	0,02 - 0,08	0,02 - 0,08	0,02 - 0,08

NOTA 1. La cantidad permisible de los siguientes elementos son respectivamente $P \leq 0.1\%$, $S \leq 0.02\%$

2.1.5. Norma NTE 2499-2009

Esta norma tiene un alcance para fundiciones de hierro nodular con propósitos industriales de ingeniería en los cuales se generen esfuerzos de tracción.

Para poder definir el grado de la fundición es necesario realizar ensayos de tracción y categorizarlos según el rango en el que se encuentre en la siguiente tabla. [5]

Tabla 2. 2 Requerimientos de tensión. [5]

	GRADO				
	60-40-18	65-45-12	80-55-06	100-70-03	120-90-02
Resistencia a la tracción mínimo (MPa)	414	448	552	689	827
Límite de fluencia mínimo (MPa)	276	310	379	483	621
Elongación en 50 mm mínimo %	18	12	6,0	3,0	2,0

2.1.6. Tracción

“Estos métodos de ensayo cubren la prueba de tensión de materiales metálicos en cualquier forma a temperatura ambiente, específicamente, los métodos de determinación de la elasticidad, el alargamiento del límite de elasticidad, la resistencia a la tracción, el alargamiento y la reducción de área.” [6]

Se ha establecido complemento métrico completo para los Métodos de prueba E8. “El Comité E28 recibió una excepción en 1997 del Comité de Normas para mantener el E8 y el E8M como estándares complementarios separados, en lugar de combinar las normas recomendadas por el Manual de Forma y Estilo”.

Los especímenes por lo general son redondos por lo que los acoplamientos de estos métodos de ensayo se los realiza en 4 D.

Los ensayos se los realiza a temperatura ambiente (50 a 100 °F).

“Las pruebas de tensión proporcionan información sobre la resistencia y la ductilidad de los materiales bajo tensiones de tracción uniaxiales. Esta información puede ser útil en comparaciones de materiales, desarrollo de aleaciones, control de calidad y diseño bajo ciertas circunstancias”. [6]

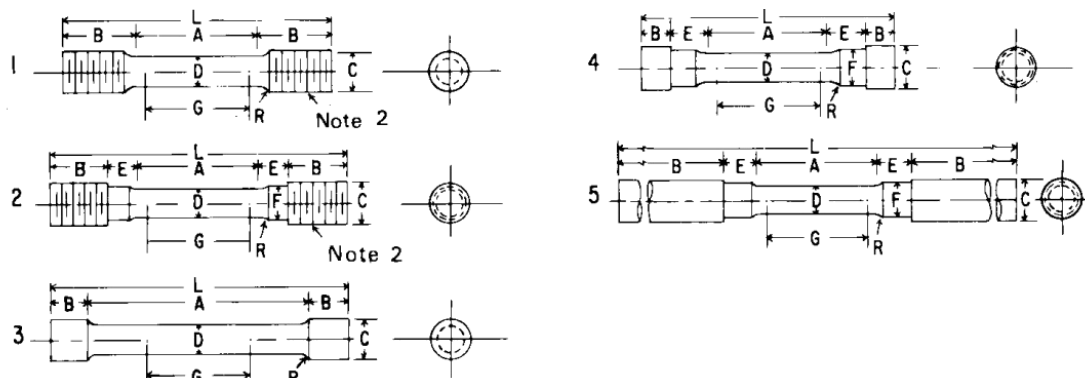


Figura 2. 4 Tipos de probetas para ensayo a tracción normalizados - Cotas. [6]

	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.	in.	in.	in.	in.
GD Gage length	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005
DØ Diameter (Note 1)	0.500 6 0.010	0.500 6 0.010	0.500 6 0.010	0.500 6 0.010	0.500 6 0.010
RØ Radius of fillet, min	2^{1a_4}	2^{1a_4}	4^{1a_4}	2^{1a_4}	2^{1a_4}
AD Length of reduced section	2^{1a_4} , min	2^{1a_4} , min	4, approximately	2^{1a_4} , min	2^{1a_4} , min
LD Over-all length, approximate	5	5^{1a_2}	5^{1a_2}	4^{1a_4}	9^{1a_2}
BD Length of end section (Note 3)	1^{1a_4} , approximately	1, approximately	3^{1a_4} , approximately	1^{1a_2} , approximately	3, min
CD Diameter of end section	3^{1a_4}	3^{1a_4}	2^{1a_2}	1^{1a_2}	3^{1a_4}
ED Length of shoulder and fillet section, approximate	...	5^{1a_6}	...	5^{1a_6}	10^{1a_2}
FD Diameter of shoulder	...	5^{1a_6}	...	5^{1a_6}	10^{1a_2}

Figura 2. 5 Tipos de probetas para ensayo a tracción normalizados. [6]

“Las máquinas utilizadas para ensayos de tensión deberán cumplir los requisitos de las prácticas E 4. Las fuerzas utilizadas para determinar la resistencia a la tracción y el límite de elasticidad deberán estar dentro del rango de aplicación de la fuerza verificada de la máquina de ensayo tal como se define en las prácticas E 4”. [6]

Normalmente se deforma una probeta hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta. [7]

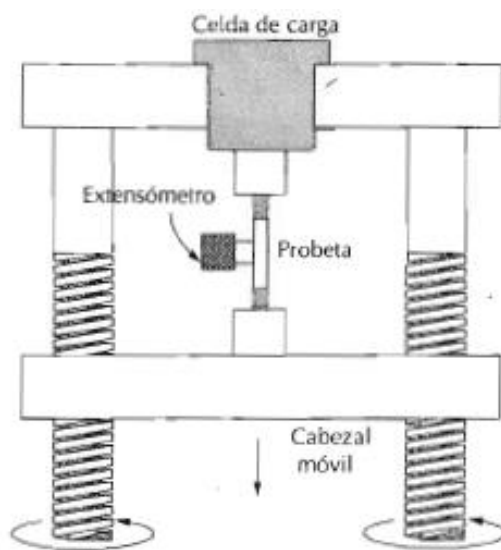


Figura 2. 6 Esquema del aparato utilizado para realizar ensayos de tracción. [7]

Se define esfuerzo o tensión (σ) como la fuerza aplicada a la probeta por unidad de sección transversal A_0 (Área inicial). [7]

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

La deformación nominal se define como: [7]

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2)$$

Donde:

l = longitud final de la probeta

l_0 = longitud inicial de la probeta

2.1.7. Microestructura

Este análisis consiste en investigar la estructura de los materiales con grandes aumentos auxiliados por microscopios. A la estructura que se observa por este método se le denomina microestructura.

El estudio en el microscopio de las estructuras de los metales y de los materiales no metálicos opacos resulta posible sólo en presencia de una reflexión 34 lo suficientemente intensiva de los rayos luminosos desde la superficie que se investiga; es por ello que la superficie de la probeta (más exactamente: microprobeta) debe tener una preparación especial. Para la preparación de la microprobeta es necesario cortarla del material a investigar y obtener en ella una superficie plana y brillante; este proceso se ejecuta según la siguiente secuencia:

- Corte a partir del metal a investigar.
- Obtención de la superficie plana de la probeta.
- Rectificado de la superficie (con papeles abrasivos de diferentes granulidades).
- Pulido de las superficies fundamentalmente se emplean los procedimientos mecánicos, químico-mecánico y electroquímico.
- Lavado de la microprobeta: primero con agua y después con alcohol.
- Secado con papel absorbente. [7]

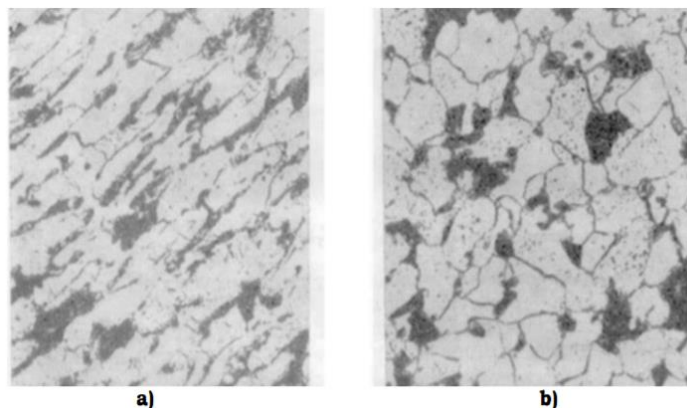


Figura 2. 7 Microestructura de un acero con 0,20 % C (x 200): a) después de la deformación plástica; b) después de la recristalización. [7]

Por conveniencia, los especímenes a pulir para el examen metalográfico generalmente no tienen más de aproximadamente 12 a 25 mm (0,5 a 1,0 pulgadas) de cuadrado, o aproximadamente 12 a 25 mm de diámetro si el material es cilíndrico. La altura del espécimen no debe ser mayor que la necesaria para una manipulación conveniente durante el pulido. [8]

Los especímenes más grandes generalmente son más difíciles de preparar.

Los especímenes que son frágiles, de forma extraña o demasiado pequeños para ser manejados fácilmente durante el pulido deben montarse para asegurar una superficie satisfactoria para el estudio microscópico. [8]

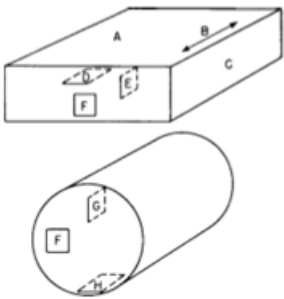
	Símbolo en el diagrama	Designación sugerida
	A	Superficie del rodillo
	B	Dirección de rodadura
	C	Borde enrollado
	D	Sección planar
	E	Sección longitudinal perpendicular a la superficie laminada
	F	Sección transversal
	G	Sección longitudinal radial
	H	Sección longitudinal tangencial

Figura 2. 8 Método de designación de la ubicación del área mostrada en fotomicrografía. [8]

2.1.8. Dureza

El ensayo de dureza Rockwell constituye el método más utilizado para medir la dureza debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales. Se puede utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar virtualmente cualquier metal o aleación desde el más duro al más blando. Los penetradores son bolas esféricas de acero endurecido que tienen diámetros de 1/16, 1/8, 1/4 y 1/2 pulgadas y un penetrador cónico de diamante (brale), el cual se utiliza para los materiales más duros.

Con este sistema se determina un número de dureza a partir de la diferencia de profundidad de penetración que resulta al aplicar primero una carga inicial pequeña y después una carga mayor; la utilización de la carga inicial pequeña aumenta la exactitud de la medida. Basándose en la magnitud de las cargas mayores y menores,

existen dos tipos de ensayos Rockwell y Rockwell superficial. En el ensayo Rockwell, la carga menor es de 10 kg, mientras que las cargas mayores so 60,100 y 150 kg. [7]

Tabla 2. 3 Técnica de ensayo de dureza. [7]

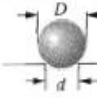





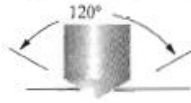

Ensayo*	Penetrador	Forma del penetrador		Carga	Fórmula para el número de dureza ^a
		Vista lateral	Vista superior		
Brinell	Esfera de 10mm de acero o de carburo de tungsteno			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Microdureza Vickers	Pirámide de diamante			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell y Rockwell superficial	<ul style="list-style-type: none"> Cono de diamante Esferas de acero de $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro 			<ul style="list-style-type: none"> 60 kg 100 kg 150 kg 	<ul style="list-style-type: none"> } Rockwell 15 kg 30 kg 45 kg
^a Para las fórmulas dadas, P (la carga aplicada) está en kg, D, d, d ₁ y l están dadas en mm. Fuente: Adaptado de H. W. Hayden, W. G. Moffatt y J. Wulff, <i>The Structure and Properties of Materials</i> , Vol III, <i>Mechanical Behavior</i> . © 1965 John Wiley & Sons, New York. Reproducido con permiso de John Wiley & Sons Inc.					

Tabla 2. 4 Escalas de dureza Rockwell. [7]

Símbolo de la escala	Penetrador	Carga mayor (kg)
A	Diamante	60
B	Bola de 1/16 pulg.	100
C	Diamante	150
D	Diamante	100
E	Bola de 1/8 pulg.	100
F	Bola de 1/16 pulg.	60
G	Bola de 1/16 pulg.	150
H	Bola de 1/8 pulg.	60
K	Bola de 1/8 pulg.	150

Tabla 2. 5 Escalas de dureza Rockwell superficial. [3]

Símbolo de la escala	Penetrador	Carga mayor (kg)
15N	Diamante	15
30N	Diamante	30
45N	Diamante	45
15T	Bola de 1/16 pulg.	15
30T	Bola de 1/16 pulg.	30
45T	Bola de 1/16 pulg.	45
15W	Bola de 1/8 pulg.	15
30W	Bola de 1/8 pulg.	30
45W	Bola de 1/8 pulg.	45

El equipo para medir la dureza soporta la muestra de ensayo y añade una fuerza de sangrado a una bola en contacto con la muestra. La máquina para el ensayo no deberá generar movimientos de balanceo ni movimiento lateral del indentador especialmente cuando se aplica la fuerza de impacto con la muestra. [9]

“No existe una forma o tamaño estándar para una muestra de ensayo Brinell. El espesor de la muestra ensayada deberá ser tal que no aparezca ningún bulto u otra marca que muestre el efecto de la fuerza de prueba en el lado de la pieza opuesto a la indentación. Como regla general, el espesor de la muestra debe ser por lo menos diez veces la profundidad de la indentación” [9].

2.1.9. Espectrometría

La espectroscopia de emisión con fuente de arco y de chispa están basados en la obtención mediante excitación del espectro de emisión de elementos por medio de arcos eléctricos o chispas eléctricas. Estos espectros permiten la determinación cualitativa y cuantitativa de metálicos en varios tipos de muestras, incluyendo metales, aleaciones, suelos, minerales y roca.

La excitación de la muestra se produce en el pequeño espacio existente entre un par de electrodos. El paso de electricidad entre los electrodos a través de este pequeño espacio proporciona la energía necesaria para atomizar la muestra y producir átomos o iones en estado electrónico excitado. Las fuentes de arco y chispa requieren integrar las señales de emisión durante al menos 20 segundos, y a menudo, durante un minuto o más, para obtener datos analíticos reproducibles. [10]

“El espécimen, eléctricamente negativo, sirve como un electrodo. El electrodo opuesto es un tungsteno thoriated o barra de plata, la punta de la cual se ha afilado a un ángulo incluido de 45° a 120° conico. Se utiliza una separación de 3, 4 o 5 mm. Se centra el espacio analítico en los ejes ópticos del espectrómetro.

Con ciertos espectrómetros, un espécimen debidamente excitado normalmente exhibe un anillo oscuro alrededor del área chispeada picada. Con ese equipo, una textura lisa, blanca, sin el anillo oscuro característico indica un espécimen incorrectamente excitado. Sin embargo, si se utilizan discos de nitruro de boro para restringir

mecánicamente el área excitada de la muestra, una muestra correctamente excitada puede no presentar un anillo oscuro” [11].

2.1.10. Fractografía

Las técnicas fractográficas pueden aportar también información sobre la fractoténacidad del material del componente fracturado. La fragilidad o la ductilidad quedan en general reveladas en la superficie de fractura, una aleación más bien dúctil presenta superficies de fractura transgranulares cubiertas de 'dimples', en cambio un material frágil puede romper por clivaje transgranular o también por fractura intergranular. En la práctica estos modos de fractura aparecen mezclados entre sí junto con otras variantes morfológicas, pero, aunque la interpretación no es siempre fácil, la proporción relativa de los distintos tipos de fractura puede tomarse como punto de partida para el análisis de las propiedades fractomecánicas del material. Observaciones a mayores aumentos pueden proporcionar información adicional sobre la microestructura referente a la presencia de inclusiones, segregación de fases, poros, etc.

Una observación fractográfica también permite estimar cualitativamente la magnitud de las tensiones actuantes. En efecto, existen rasgos fractográficos que indican si las cargas que condujeron a la rotura fueron altas o bajas. [12]

2.2. HIPÓTESIS

La influencia del cobre en la obtención de fundición nodular para alcanzar el grado 65-45-12 bajo la NORMA NTE INEN 2499-2009 en la empresa Fundi Laser mejorará las propiedades mecánicas.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. Variable independiente

Obtención de fundición nodular más cobre para alcanzar el grado 65-45-12 bajo la NORMA NTE INEN 2499-2009 en la empresa Fundi Laser.

2.3.2. Variable dependiente

Propiedades Mecánicas.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para esta investigación se procederá a realizar los siguientes tipos de investigación:

3.1.1 Descriptiva

La modalidad descriptiva se utilizó ya que se usa en la descripción de los porcentajes de cobre en la fundición nodular para alcanzar al grado 65-45-12 de la norma NTE INEN 2499-2009.

3.1.2 Exploratoria

En la investigación es necesario determinar los porcentajes de cobre necesarios para poder alcanzar las propiedades mecánicas necesarias según la norma NTE INEN 2499-2009.

3.1.3 Correlacional

La relación entre las variables independiente y dependiente son necesarias para llegar al grado de dependencia de los diferentes parámetros en la investigación.

3.1.4 Experimental

Se realizarán ensayos para identificar las propiedades mecánicas, microestructura, fractografía y espectrometría hasta llegar al grado 65-45-12 que es del que dispone la norma NTE INEN 2499-2009.

3.1.5 Explicativa

Se explicará e interpretará todos los resultados obtenidos por los diferentes ensayos para determinar la cantidad adecuada de cobre que mejora las propiedades mecánicas de la fundición nodular.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

Para esta investigación la población de estudio será las probetas de fundición nodular con diferentes cantidades de cobre, en las cuales se realizarán ensayos de tracción, micrografía, espectrometría, dureza y fractografía, éstas ayudarán a ver la composición del material y saber las propiedades mecánicas de cada ensayo, hasta llegar al grado propuesto por la norma NTE INEN 2499-2009.

3.2.2 Muestra

La muestra se llevó a cabo según el porcentaje de cobre de las probetas las cuales se distribuyeron de la siguiente manera:

Tabla 3. 1 Tamaño de muestra de investigación.

Ensayo Composición	Tracción	Microestructura	Dureza	Espectrometría	Fractografía
Fe Nodular	6	La que llegue al grado 65-45-12	La que llegue al grado 65-45-12	La que llegue al grado 65-45-12	La que llegue al grado 65-45-12
Fe Nodular+0.01% Cu	6				
Fe Nodular+0.02% Cu	6				
Fe Nodular+0.03% Cu	6				
Fe Nodular+0.04% Cu	6				
Fe Nodular+0.05% Cu	6				

Fuente: Autor.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable independiente:

Obtención de fundición nodular más cobre para alcanzar el grado 65-45-12 bajo la NORMA NTE INEN 2499-2009 en la empresa Fundi Laser.

Tabla 3. 2 Variable independiente

ABSTRACTO		CONCRETO		
Definición	Dimensiones	Indicadores	Items	Herramientas
La fundición de carbono y cobre en hierro gamma, se transforma en perlita, y bajo unas condiciones de equilibrio una aleación de hierro – carbono – cobre	Aleante para fundición.	% Cobre	Porcentajes del: 0.01% Cu al 0.05% Cu	Medición directa de cobre.
	Materiales para fundición.	Tipo de chatarra	Acero A 36 -Retorno o chatarra de fundición.	Clasificación directa.

Fuente: Autor.

3.3.2 Variable dependiente:

Propiedades mecánicas.

Tabla 3. 3 Variable dependiente.

ABSTRACTO		CONCRETO		
Definición	Dimensiones	Indicadores	Items	Herramientas
Las propiedades mecánicas son utilizadas para caracterizar un material basándose en normas como la ASTM.	Tracción.	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia última a la tracción. • Límite de fluencia. • Porcentaje de elongación. 	<p>¿Qué resistencia última a la tracción tendrá el material?</p> <p>¿Qué límite de fluencia se obtendrá?</p> <p>¿Qué porcentaje de elongación tendrá?</p>	Máquina universal. ASTM E-8 Observación directa.
	Microestructura.	Porcentaje de elementos (Grafito, ferrita, perlita).	¿Qué porcentajes de elementos se obtendrá?	ASTM E-3 Microscopio. Bibliografía.
	Dureza.	Dureza del material.	¿Qué dureza se obtendrá?	ASTM E-10 Durómetro. Observación directa.
	Espectrometría.	Composición química del material.	¿Qué porcentaje de elementos químicos se tendrá en las aleaciones?	Espectrómetro. ASTM E-415
	Fractografía.	Tipo de fractura.	¿Qué tipo de fractura se obtendrá?	Observación directa. Microscopio de barrido.

Fuente: Autor

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.4.1 Observación

Por tratarse de una investigación experimental la recolección de datos se los realizara por observación directa ya que se lo efectuara en el laboratorio, por lo que se toma nota de todos los ensayos realizados como porcentajes, resistencias y todo lo que sea necesario para tener una base de datos informativa suficiente, aparte que se realizara la recolección de datos de los ensayos en fichas técnicas de la Facultad.

3.4.2 Documentación

Se utilizó material bibliográfico como libros, publicaciones, normas y catálogos para llevar a cabo la interpretación de los resultados de nuestra investigación.

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El procesamiento y análisis de lo efectuara de la siguiente manera:

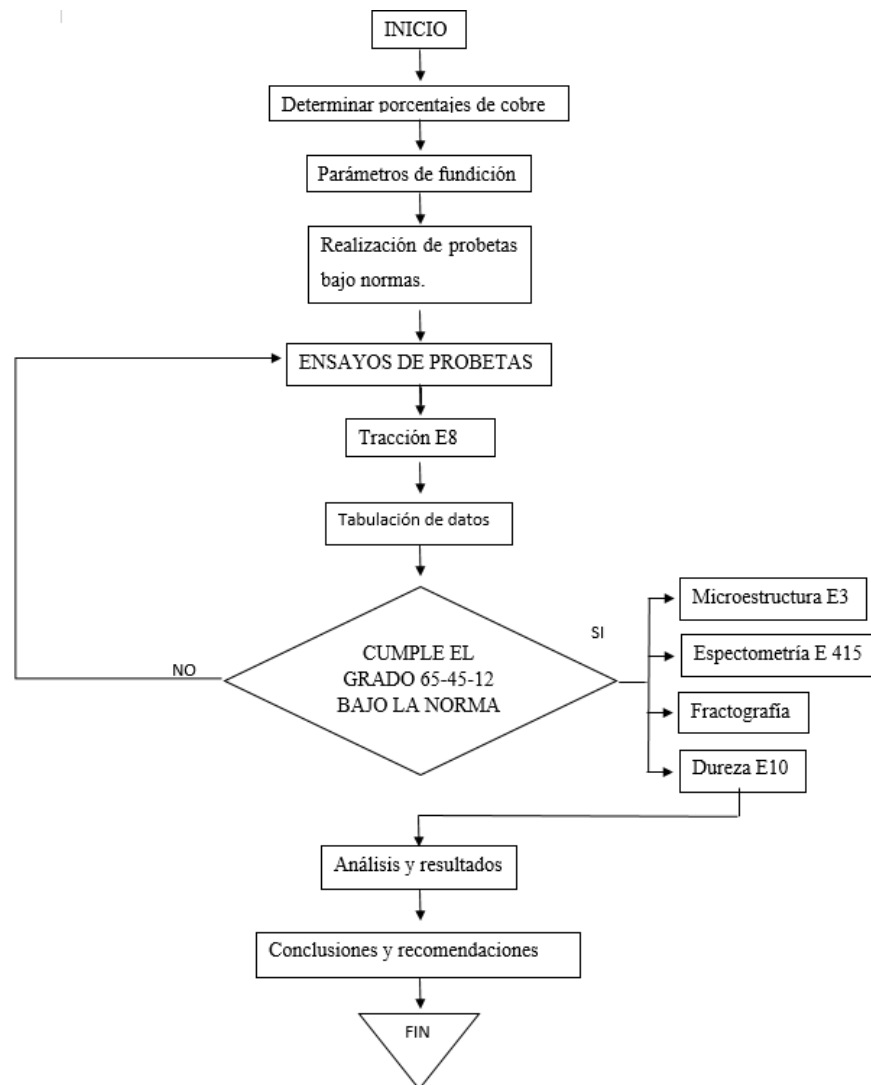
- Analizar de los porcentajes de cobre para añadir a la fundición nodular.
- Realizar las probetas para ser sometidas a tracción, según su porcentaje de cobre.
- Comprobar cuál es el porcentaje de cobre que llegue a cumplir los parámetros de la norma NTE INEN 2499-2009, después de haberlas sometidas a tracción.
- Seleccionar la probeta con mejor comportamiento del grupo en la prueba de tracción para realizar el análisis de dureza, microestructura, espectrometría.
- Ensayar en el microscopio de barrido la muestra que llegue a cubrir el grado 65-45-12.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

El diagrama de flujo que se muestra a continuación detalla los análisis que se llevarán a cabo para estudiar el comportamiento mecánico del hierro nodular con la adición de cobre, en los estudios de tracción, dureza, microestructura, espectrometría y fractografía en la de mejor composición, los cuales sirvieron para caracterizar los materiales dentro de la norma NTE INEN 2499-2009 en la empresa Fundi Laser.



4.1.1. Determinación de porcentajes de cobre.

Los porcentajes de cobre se determinaron en base a la teoría y se realizara experimentalmente añadiendo al hierro nodular.

La composición de las probetas son las siguientes:

Tabla 4. 1 Composición y número de probetas a realizarse.

Composición de probetas	Número de probetas
Fe Nodular + 0.00 % Cu	6
Fe Nodular + 0.01 % Cu	6
Fe Nodular + 0.02 % Cu	6
Fe Nodular + 0.03 % Cu	6
Fe Nodular + 0.04 % Cu	6
Fe Nodular + 0.05 % Cu	6

Fuente: Autor.

4.1.2. Parámetros de fundición.

Los parámetros de fundición que se deben analizar para realizar las probetas son:

- El tipo de materia prima (chatarra) que es previamente seleccionada y clasificada.
- La arena verde que se debe limpiar y tamizar antes de su utilización en los moldes.
- Los moldes que deben tener sus respectivos ángulos de salida.
- La compactación de la arena es muy necesaria para evitar que la pieza salga con defectos.
- El cobre que se debe utilizar de aleante debe ser previamente seleccionado y clasificado.
- Los porcentajes elementos Acero, Retorno de chatarra, Grafito, Ferro silicio, Liga, Inoculante, Cobre.
- El colado de la pieza se debe tener mucho cuidado para evitar impurezas y turbulencias excesivas.

4.1.3. Determinación de probetas para el ensayo de tracción.

- a) Se realizarán bloques de quilla rigiéndose a los parámetros de medidas en la obtención de las probetas según la norma “NTE INEN 2499-2009” en el horno de inducción de la empresa “Fundi Laser”.

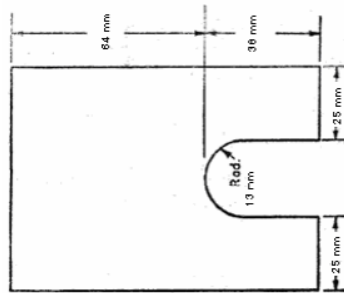


Figura 4. 1 Bloque de quilla para probetas de ensayo a tracción. [5]

- b) Una vez definido el molde se procede a su elaboración en arena silica con un 0.05% de bentonita.



Figura 4. 2 Colado de material en modelo de probeta de hierro nodular.

Fuente: Autor.

- c) El horno de la empresa “Fundi Laser” es de inducción de media frecuencia, marca SEE-MEAN D de 300 KVA, una potencia de recuperación de 440 V y una capacidad de 500 kg/h.

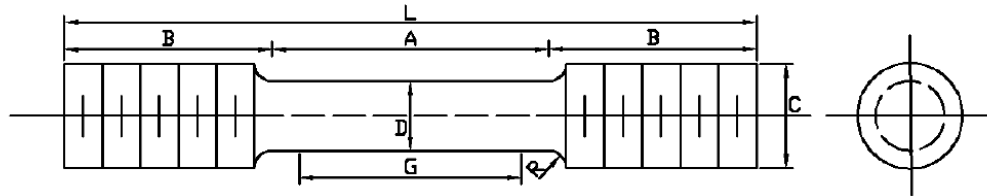


Figura 4. 3 Horno de inducción.

Fuente: Autor.

- d) Una vez realizadas las probetas se proceden a cortar y maquinar según las dimensiones de la norma ASTM E8.

Tabla 4. 2 Medidas de probetas estandarizadas. [6]



	DIMENSIONES DE ESPECIMEN (in)
G longitud de medida	2.000 ± 0.005
D diámetro	0.500 ± 0.010
R radio de filete	3/8
A longitud de sección reducida	2 1/4 , min
L longitud de la probeta	5
B longitud final de sección	1 3/8
C diámetro de final de sección	3/4
E longitud de hombro y filete de sección aproximadamente	.....
F diámetro de hombro	.....

- e) El ensayo de tracción se realizó en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua en la Máquina de ensayos universal para metales. Metro test 1500 KN.

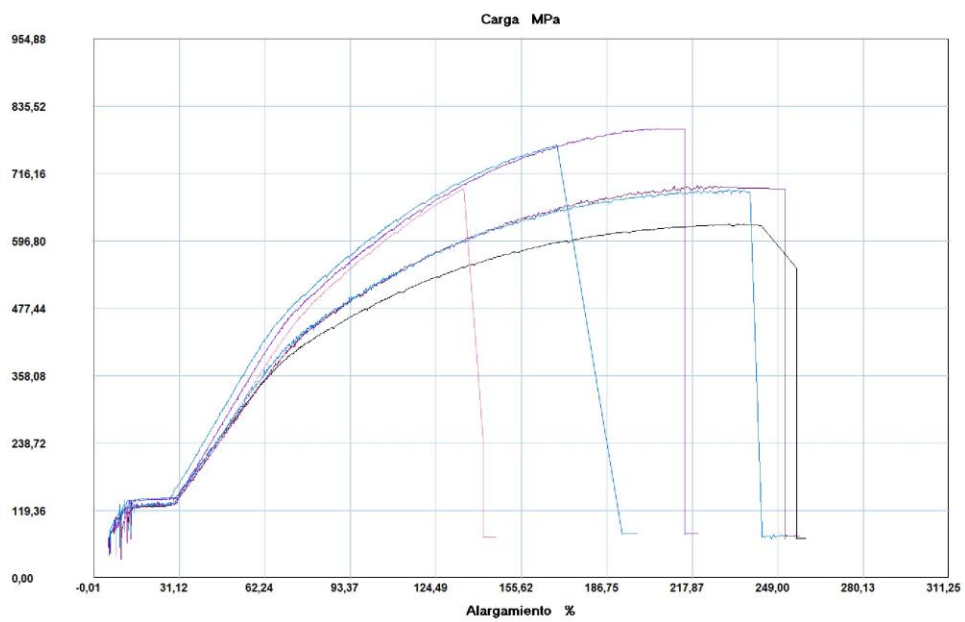
4.1.4. Tabulación y recolección de datos de tracción

La tabulación y recolección de datos en los ensayos de tracción bajo la norma E 8 fueron registrados en las fichas mostradas a continuación.



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.0 % de Cobre							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM E8M							
Lugar:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:		Máquina de ensayos universal. Metro test 1500KN					
Fecha:		16-oct-17		Ciudad:		Ambato	
Responsable:		Sr. Marco Naranjo		Revisado por:		Ing. Juan Paredes	
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Dimensiones de la probeta		Longitud:	200 mm	Ancho:	12.30 mm	Espesor:	10.37 mm
Tipo de probeta		Cilíndrica		Longitud calibrada		50 mm	
Temperatura:		25.9 °C		Humedad Relativa		46.8 %	
Velocidad de ensayo:		10mm/min		Precarga		15000 N	
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Rotura zona calibrada	
1	60000,01	16450,00	471,20	222,30	15,10	SI	
2	47601,01	16450,00	385,17	181,44	16,04	NO	
3	59980,01	16450,00	471,78	222,57	12,30	SI	
4	56008,01	16500,00	449,84	212,14	15,62	NO	
5	52020,01	16700,00	405,08	190,94	15,96	SI	
6	55007,01	16550,00	436,31	205,73	12,46	SI	
FOTOGRAFÍA DE PROBETA SOMETIDA AL ENSAYO							



GRÁFICA DE RESULTADOS

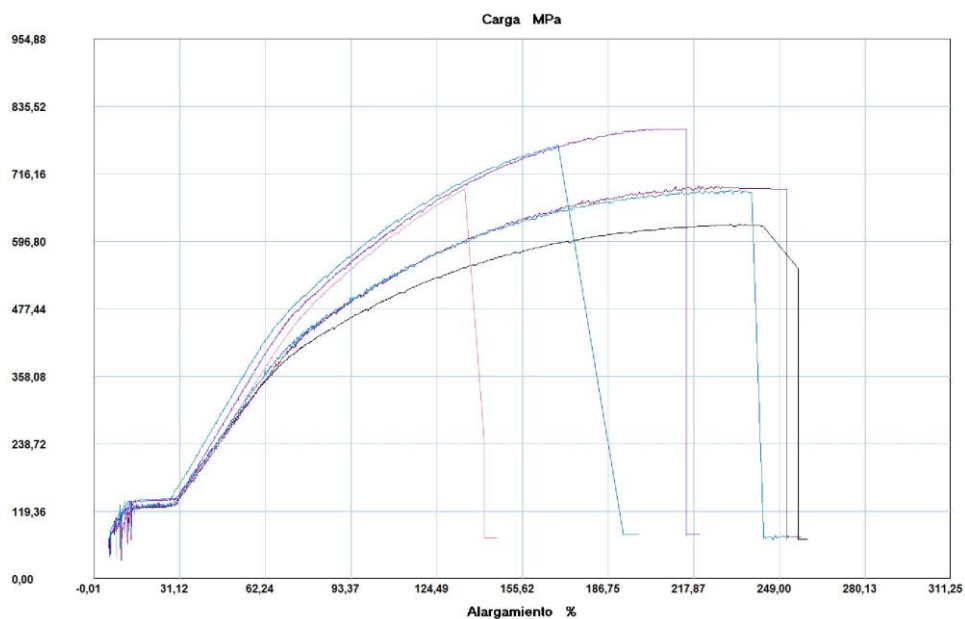


OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p>Se analizaron 6 probetas de hierro nodular sin cobre.</p> <p>La ruptura de las probetas estuvieron arriba del rango de zona calibrada.</p>		<p>Las medidas de las probetas tuvieron 12.7 mm de diametro.</p> <p>La resistencia a la tracción promedio es de 436.56 MPa</p> <p>El límite de fluencia promedio es 205.85 MPa.</p> <p>El porcentaje de elongación promedio es de 14.58.</p>	
Elaborado por :	Sr. Marco Naranjo	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Juan Paredes


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.01 % de Cobre							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM E8M							
Lugar:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros					
Máquina:		Máquina de ensayos universal. Metro test 1500Kn					
Fecha:		16-oct-17		Ciudad:		Ambato	
Responsable:		Sr. Marco Naranjo		Revisado por:		Ing. Juan Paredes	
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Dimensiones de la probeta		Longitud:	200 mm	Ancho:	12.30 mm	Espesor:	10.37 mm
Tipo de probeta		Cilíndrica		Longitud calibrada		50 mm	
Temperatura:		25.9 °C		Humedad Relativa		46.8 %	
Velocidad de ensayo:		10mm/min		Precarga		15000 N	
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Rotura zona calibrada	
1	82350,01	16800,00	625,73	255,45	14,22	SI	
2	89950,01	16500,00	690,36	283,37	13,62	NO	
3	96150,01	16850,00	795,73	326,29	12,64	NO	
4	89450,01	17000,00	694,82	282,68	13,58	NO	
5	87600,01	17000,00	687,66	279,87	13,64	NO	
6	91550,01	16750,00	766,73	314,72	12,90	NO	
FOTOGRAFÍA DE PROBETA SOMETIDA AL ENSAYO							



GRÁFICA DE RESULTADOS

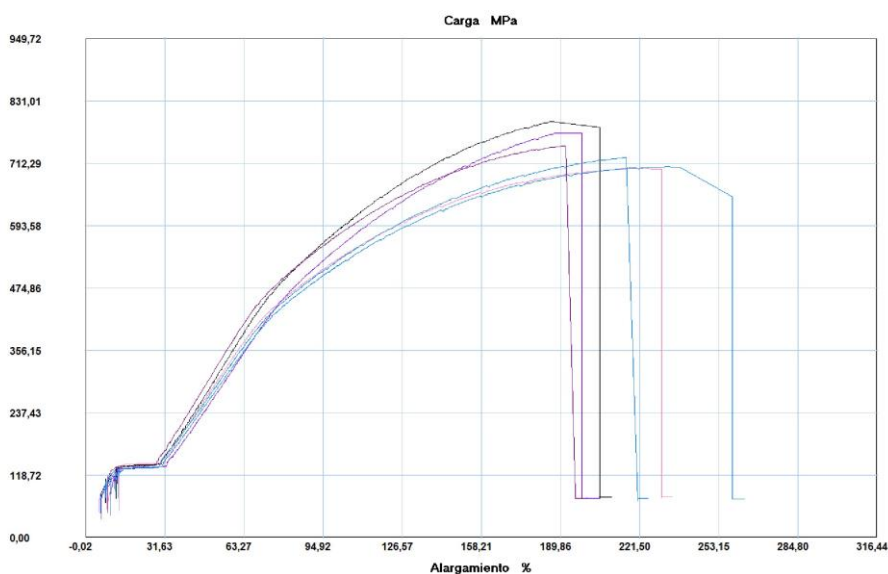


OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p>Se analizaron 6 probetas de hierro nodular con el 0.01 % de cobre.</p> <p>La ruptura de las probetas estuvieron arriba del rango de zona calibrada.</p>		<p>Las medidas de las probetas tuvieron 12.7 mm de diametro.</p> <p>La resistencia a la tracción promedio es de 710 MPa</p> <p>El límite de fluencia promedio es 290.40 MPa.</p> <p>El porcentaje de elongación promedio es de 13.43.</p>	
Elaborado por :	Sr. Marco Naranjo	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Juan Paredes



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM E8M							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero						
Máquina:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500Kn						
Fecha:	16-oct-17		Ciudad:	Ambato			
Responsable:	Sr. Marco Naranjo		Revisado por:	Ing. Juan Paredes			
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Dimensiones de la probeta	Longitud:	200 mm	Ancho:	12.30 mm	Espesor:	10.37 mm	
Tipo de probeta	Cilíndrica		Longitud calibrada	50 mm			
Temperatura:	25.9 °C		Humedad Relativa	46.8 %			
Velocidad de ensayo:	10mm/min		Precarga	15000 N			
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Rotura zona calibrada	
1	94500,01	16450,00	791,43	335,84	12,66	SI	
2	82100,01	16500,00	702,45	297,54	12,50	NO	
3	95250,01	16350,00	770,40	326,74	12,88	NO	
4	90450,01	16500,00	745,41	315,79	12,10	SI	
5	89550,01	16500,00	723,57	306,70	13,32	NO	
6	87250,01	16500,00	705,81	298,82	13,48	SI	
FOTOGRAFÍA DE PROBETA SOMETIDA AL ENSAYO							



GRÁFICA DE RESULTADOS

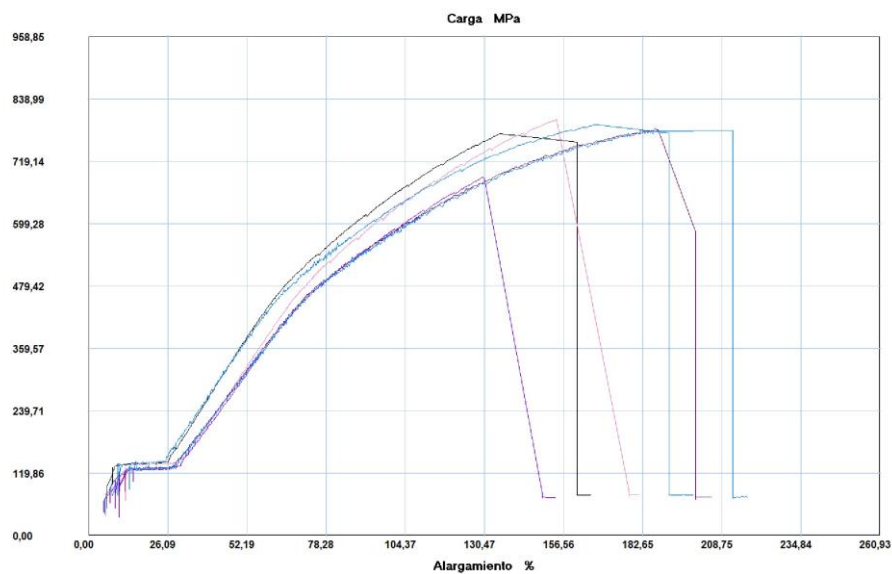


OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p>Se analizaron 6 probetas de hierro nodular con 0.02% de cobre.</p> <p>La ruptura de las probetas estuvieron arriba del rango de zona calibrada.</p>		<p>Las medidas de las probetas tuvieron 12.7 mm de diametro.</p> <p>La resistencia a la tracción promedio es de 739.85 MPa</p> <p>El límite de fluencia promedio es 325.71 MPa.</p> <p>El porcentaje de elongación promedio es de 12.82.</p>	
Elaborado por :	Sr. Marco Naranjo	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Juan Paredes


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.03 % de Cobre							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM E8M							
Lugar:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:		Máquina de ensayos universal. Metro test 1500Kn					
Fecha:		16-oct-17		Ciudad:		Ambato	
Responsable:		Sr. Marco Naranjo		Revisado por:		Ing. Juan Paredes	
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Dimensiones de la probeta		Longitud:	200 mm	Ancho:	12.30 mm	Espesor:	10.37 mm
Tipo de probeta		Cilíndrica		Longitud calibrada		50 mm	
Temperatura:		25.9 °C		Humedad Relativa		46.8 %	
Velocidad de ensayo:		10mm/min		Precarga		15000 N	
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Rotura zona calibrada	
1	93700,01	16800,00	796,32	391,54	8,32	NO	
2	96650,01	16600,00	785,01	405,17	7,30	SI	
3	87900,01	16550,00	668,57	347,46	8,12	NO	
4	102850,02	16750,00	731,75	395,34	8,70	SI	
5	100450,01	17350,00	788,43	394,60	8,02	SI	
6	92800,01	16700,00	792,02	400,57	7,14	NO	
FOTOGRAFÍA DE PROBETA SOMETIDA AL ENSAYO							



GRÁFICA DE RESULTADOS

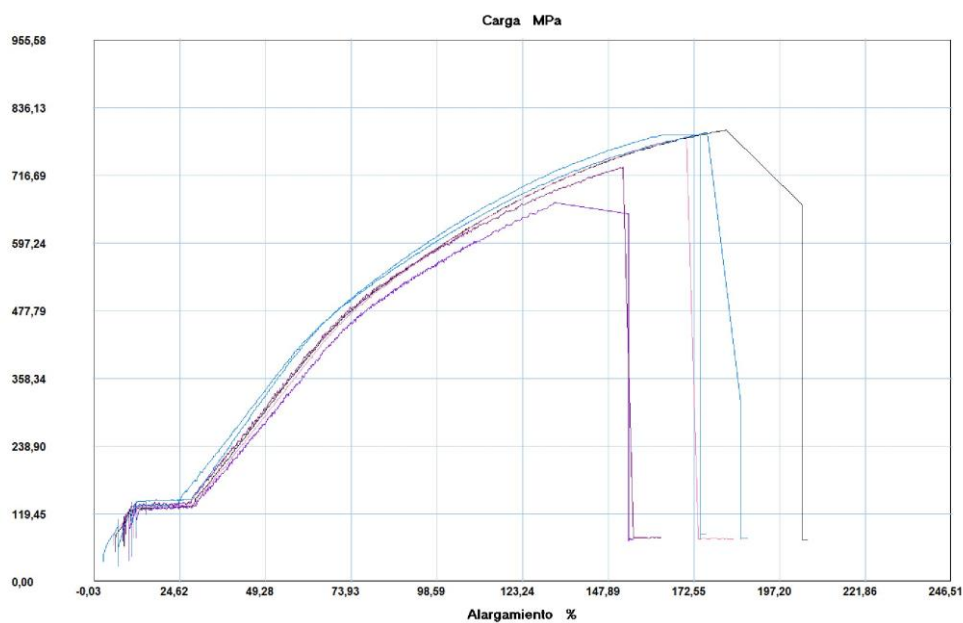


OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p>Se analizaron 6 probetas de hierro nodular con 0.03 % de cobre.</p> <p>La ruptura de las probetas estuvieron arriba del rango de zona calibrada.</p>		<p>Las medidas de las probetas tuvieron 12.7 mm de diametro.</p> <p>La resistencia a la tracción promedio es de 760.35 MPa</p> <p>El límite de fluencia promedio es 389.11 MPa.</p> <p>El porcentaje de elongación promedio es de 7.93.</p>	
Elaborado por :	Sr. Marco Naranjo	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Juan Paredes



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.04 % de Cobre						
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM E8M						
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500Kn					
Fecha:	16-oct-17	Ciudad:	Ambato			
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes			
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO						
Dimensiones de la probeta	Longitud:	200 mm	Ancho:	12.30 mm	Espesor:	10.37 mm
Tipo de probeta	Cilíndrica		Longitud calibrada	50 mm		
Temperatura:	25.9 °C		Humedad Relativa	46.8 %		
Velocidad de ensayo:	10mm/min		Precarga	15000 N		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Muestra	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Rotura zona calibrada
1	102150,01	16800,00	806,07	668,31	4,10	SI
2	98200,01	16750,00	787,94	654,91	5,74	SI
3	86300,01	16800,00	761,10	517,03	5,98	NO
4	89800,01	17200,00	712,31	591,85	4,56	SI
5	96600,01	17450,00	741,26	658,96	6,90	SI
6	98600,01	16700,00	764,65	663,21	6,40	NO
FOTOGRAFÍA DE PROBETA SOMETIDA AL ENSAYO						



GRÁFICA DE RESULTADOS

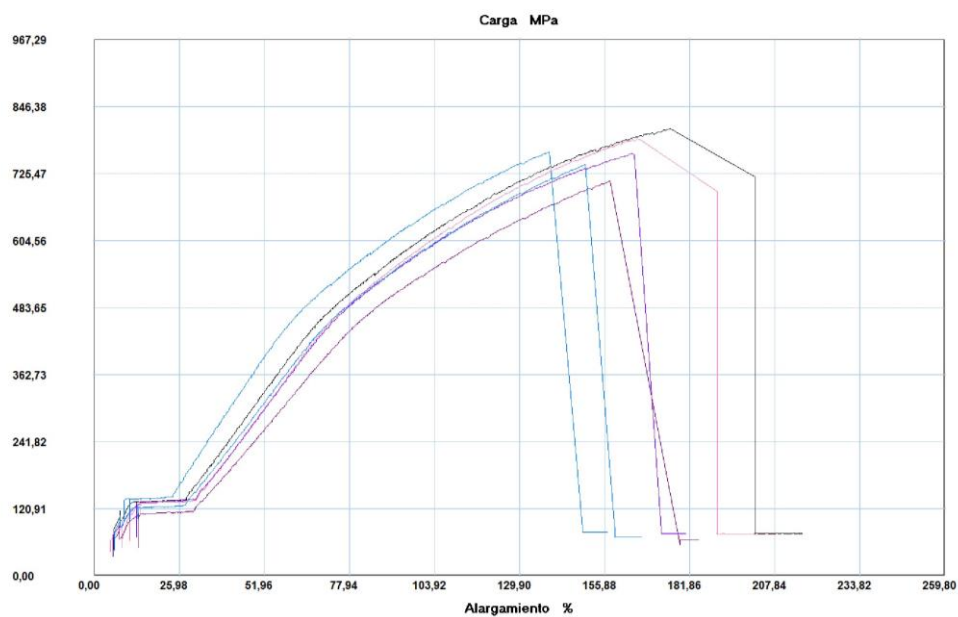


OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p>Se analizaron 6 probetas de hierro nodular con 0.04 % de cobre.</p> <p>La ruptura de las probetas estuvieron arriba del rango de zona calibrada.</p>		<p>Las medidas de las probetas tuvieron 12.7 mm de diametro.</p> <p>La resistencia a la tracción promedio es de 762.22 MPa</p> <p>El límite de fluencia promedio es 625.71 MPa.</p> <p>El porcentaje de elongación promedio es de 5.61 .</p>	
Elaborado por :	Sr. Marco Naranjo	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Juan Paredes

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.05 % de Cobre							
ENSAYO A TRACCIÓN- NORMA ASTM E8M							
Lugar:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Máquina:		Máquina de ensayos universal. Metro test 1500Kn					
Fecha:		16-oct-17		Ciudad:		Ambato	
Responsable:		Sr. Marco Naranjo		Revisado por:		Ing. Juan Paredes	
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO							
Dimensiones de la probeta		Longitud:	200 mm	Ancho:	12.30 mm	Espesor:	10.37 mm
Tipo de probeta		Cilíndrica		Longitud calibrada		50 mm	
Temperatura:		25.9 °C		Humedad Relativa		46.8 %	
Velocidad de ensayo:		10mm/min		Precarga		15000 N	
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO							
Muestra	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Deformación (%)	Rotura zona calibrada	
1	100350,01	16800,00	772,16	679,85	2,80	SI	
2	99500,01	16600,00	799,04	658,38	4,54	NO	
3	94250,01	16600,00	688,35	624,69	2,60	NO	
4	104850,01	16550,00	781,55	568,83	4,08	NO	
5	99300,001	16650,00	778,19	603,11	3,14	NO	
6	91450,01	16750,00	789,96	630,80	4,70	NO	
FOTOGRAFÍA DE PROBETA SOMETIDA AL ENSAYO							



GRÁFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p>Se analizaron 6 probetas de hierro nodular con 0.05 % de cobre.</p> <p>La ruptura de las probetas estuvieron arriba del rango de zona calibrada.</p>		<p>Las medidas de las probetas tuvieron 12.7 mm de diametro.</p> <p>La resistencia a la tracción promedio es de 768.21 MPa</p> <p>El límite de fluencia promedio es 627.61 MPa.</p> <p>El porcentaje de elongación promedio es de 3.64.</p>	
Elaborado por :	Sr. Marco Naranjo	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por :	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Juan Paredes

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó una tabla de resumen de los ensayos a tracción.

Tabla 4. 3 Resumen de ensayo a tracción realizados en las probetas del 0 % de Cu a 0.05 % Cu

	0%			0,01%			0,02%			0,03%			0,04%			0,05%		
	Resistencia a la traccion	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Resistencia a la traccion	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Resistencia a la traccion	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Resistencia a la traccion	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Resistencia a la traccion	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Resistencia a la traccion	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)
	471,20	222,30	15,1	625,73	255,45	14,22	791,43	348,84	12,66	796,32	391,54	8,32	806,07	668,31	4,1	772,16	679,85	2,8
	385,17	181,44	16,04	690,36	283,37	13,62	702,45	309,05	12,5	785,01	405,17	7,3	787,94	654,91	5,74	799,04	658,38	4,54
	471,78	222,57	12,3	795,73	326,29	12,64	770,40	339,39	12,88	668,57	347,46	8,12	761,10	517,03	5,98	688,35	624,69	2,6
	449,84	212,14	15,62	694,82	282,68	13,58	745,41	328,01	12,1	731,75	395,34	8,7	712,31	591,85	4,56	781,55	568,83	4,08
	405,08	190,94	15,96	687,66	279,87	13,64	723,57	318,57	13,32	788,43	394,60	8,02	741,26	658,96	6,9	778,19	603,11	3,14
	436,31	205,73	12,46	766,73	314,72	12,9	705,81	310,39	13,48	792,02	400,57	7,14	764,65	663,21	6,4	789,96	630,8	4,7
Promedio	436,56	205,85	14,58	710,17	290,40	13,43	739,85	325,71	12,82	760,35	389,11	7,93	762,22	625,71	5,61	768,21	627,61	3,64

Fuente: Autor.

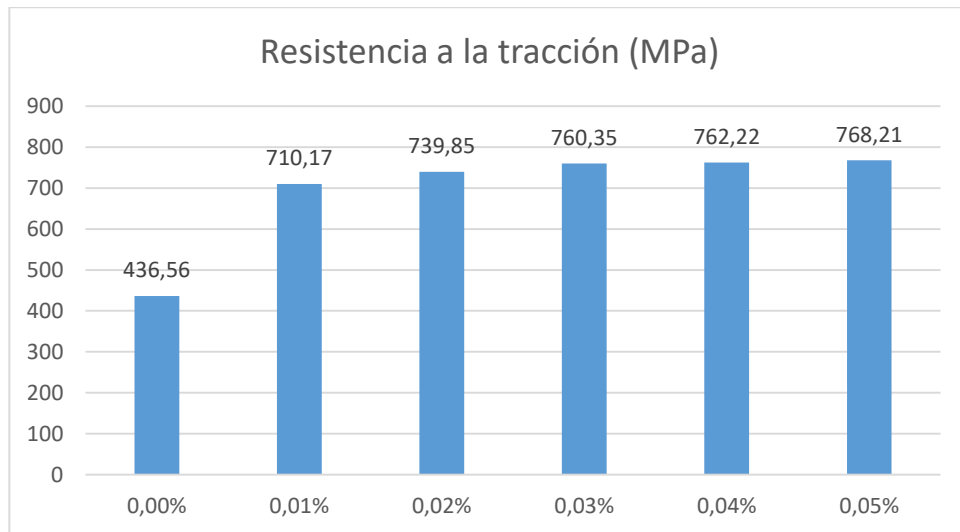
En la **Tabla 4. 3** se realizó el análisis de las propiedades mecánicas de todos los grupos ensayados a tracción para poder interpretar el comportamiento por porcentajes de cobre añadido se determinó el promedio de cada grupo y se realizaron las siguientes gráficas.

Tabla 4. 4 Promedios de grupos de ensayo a tracción.

% Cu	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)
0,00%	436,56	205,85	14,58
0,01%	710,17	290,40	13,43
0,02%	739,85	313,57	12,82
0,03%	760,35	389,11	7,93
0,04%	762,22	625,71	5,61
0,05%	768,21	627,61	3,64

Fuente: Autor.

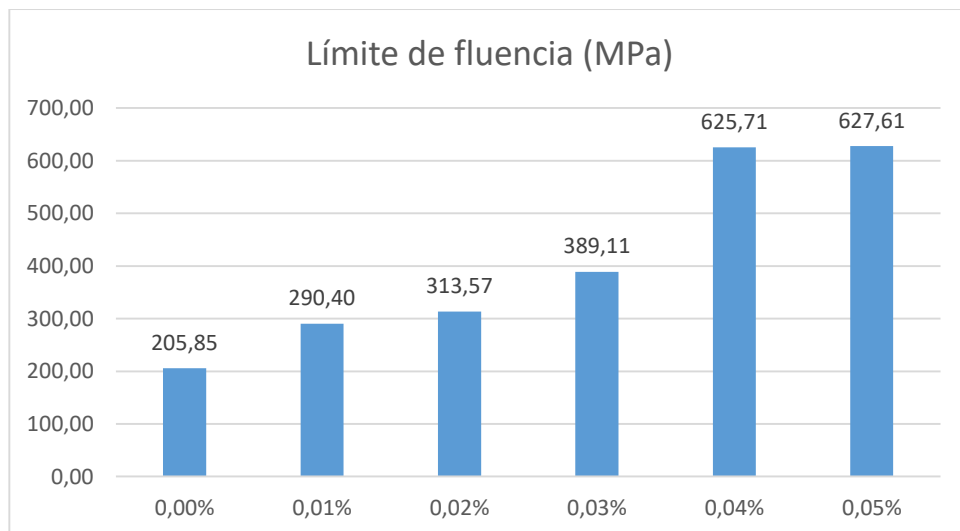
Gráfica 4. 1 Comparación de resistencia a la tracción desde el 0 % al 5 % de cobre.



Fuente: Autor.

Se puede observar que al incremento de cobre se mejora la resistencia a la tracción en fracciones significativas.

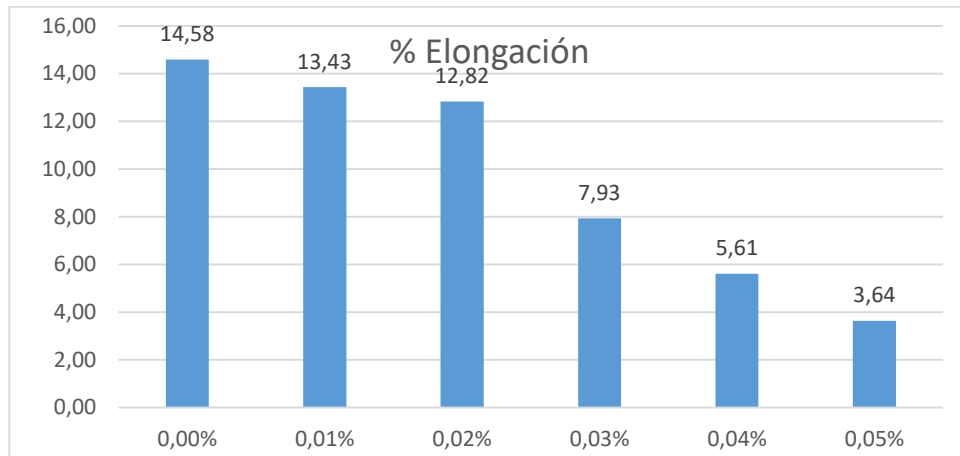
Gráfica 4. 2 Comparación de límite de fluencia desde el 0 % al 5 % de cobre.



Fuente: Autor.

Analizando la gráfica de fluencia se determina que mientras se incrementa el porcentaje de cobre aumenta el límite de fluencia.

Gráfica 4.3 Comparación de % de elongación desde el 0 % al 5 % de cobre



Fuente: Autor.

El porcentaje de elongación se comporta de diferente manera las propiedades anteriores ya que al mayor porcentaje de Cobre disminuye su porcentaje de elongación.

Una vez analizados gráficamente las propiedades mecánicas a continuación se realizará la tabla de ponderaciones para determinar estadísticamente los grupos de probetas que cumplirán con el grado 60-45-12.

Para la ponderación de resultados se realizó la siguiente tabla con sus respectivas ponderaciones

Tabla 4.5 Ponderación de resultados

Material	Resistencia a la tracción(MPa)	Δ	Límite de fluencia (MPa)	Δ	% Elongación (Calculado)	Δ	Aceptaciones (10)
0,00 % Cu	436,56	259,67	205,85	204,88	14,58	4,91	0
0,01 % Cu	710,17	13,94	290,40	120,34	13,43	3,76	10
0,02 % Cu	739,85	43,62	325,71	85,02	12,82	3,15	10
0,03 % Cu	760,35	64,12	389,11	21,62	7,93	1,74	8,33
0,04 % Cu	762,22	65,99	625,71	214,98	5,61	4,06	5
0,05 % Cu	768,21	71,98	627,61	216,88	3,64	6,03	5
PROMEDIO	696,23		410,73		9,67		
D. ESTANDAR	128,97		177,43		4,56		

Fuente: Autor.

Los valores de ponderación son:

PONDERACIÓN	
Aceptable	10
Bueno	5
Rechazado	0

PARÁMETROS DE LA PONDERACIÓN

Se obtiene el valor promedio de los seis casos existentes y su desviación estándar, a continuación, se pondera los resultados de la siguiente manera:

1. Resistencia a la tracción: Aceptables los valores superiores al promedio. Buenos los valores inferiores al promedio, pero dentro de la desviación estándar. Rechazados los valores inferiores a la desviación estándar.
2. Límite de fluencia: Aceptables los valores inferiores al promedio. Buenos los valores superiores al promedio, pero dentro de la desviación estándar. Rechazados los valores inferiores y superiores a la desviación estándar.
3. % Elongación: Aceptables los valores superiores al promedio. Buenos los valores inferiores al promedio y a la desviación estándar. Rechazados los valores superiores a la desviación estándar.

En la interpretación de resultados se utilizaron los parámetros de valor promedio de las propiedades mecánicas y la desviación estándar.

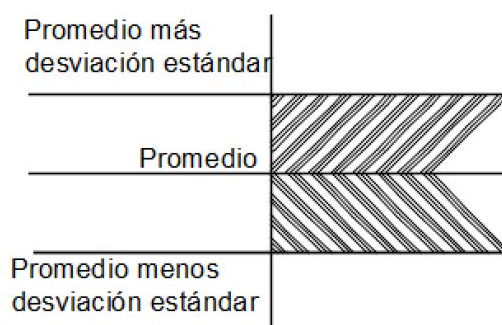


Figura 4. 4 Parámetros para interpretación de datos.

Utilizando la ponderación de datos se analizó las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, límite de fluencia y % de elongación de los grupos de probetas desde el 0 % al 0.05 % de Cobre.

La media aritmética indica el valor promedio tabulado de los resultados. La desviación estándar es el rango superior e inferior, que se acepta o rechaza a partir del promedio. El detalle de la ponderación realizada se determinó en la tabla anterior.

En el análisis que se realizó se obtuvieron dos muestras con el valor aceptable de 10, la del 0.01 % de cobre teniendo una resistencia a la tracción de 710.17 Mpa, un límite de fluencia de 290.14 Mpa y un % de elongación de 13.43.

El otro grupo que consiguió una ponderación de 10 es el de 0.02 % de Cobre con una resistencia a la tracción de 739.85 Mpa, límite de fluencia de 313.57 Mpa y un porcentaje de elongación de 12.82.

Una vez analizados los resultados de tracción se procedió encasillar en su respectivo rango de la Norma NTE INEN 24-99.

Tabla 4. 6 Rangos de 60-45-12 Norma NTE INEN 24-99. [5]

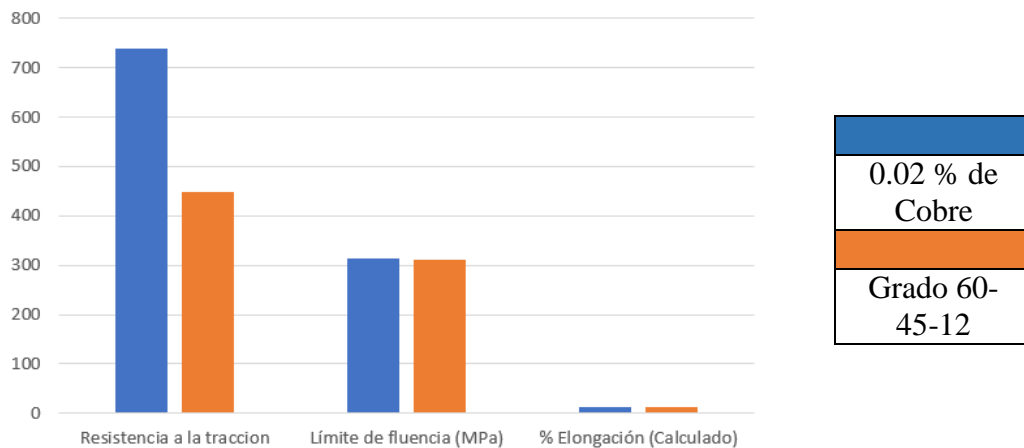
	Resistencia a la tracción(MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)
0,01 % Cu	710,17	290,14	13,43
0,02 % Cu	739,85	313,57	12,82
60-45-12	448	310	12

Fuente: Autor.

Al comparar las propiedades mecánicas de los grupos con 0.01 % y 0.02 % de cobre con las del grado 60-45-12 se observa que la resistencia a la tracción en los dos grupos es muy superior a los que se encasillan en la norma pero al pedir valores mínimos para cubrir la norma se toman como aceptables, los valores del límite de fluencia del material con el 0.01 % de Cu no llegan al grado mientras que el grupo con 0.02 % de Cu si cubre el rango de la norma y en los valores de % de elongación los dos grupos si cumplen con el grado 60-45-12.

Por lo que se selecciona el grupo con el 0.02 % de cobre que es el que cumple con el grado 60-45-12 y se realiza los análisis de dureza, microestructura, espectrometría y fractografía para observar las propiedades de este material y sus mejoras.

Gráfica 4. 4 Comparación de propiedades entre el grupo de 0.02 % de Cu con el grado 60-45-12.



Fuente: Autor.

Al analizar los valores de tracción se determina que el grupo de probetas con el 0.02% de cobre cubre el grado 60-45-12 por lo cual se a realizan los ensayos de espectrometría, dureza, microestructura y fractografía.

4.3. ENSAYO DE ESPECTOMETRÍA.

Se realizó el ensayo de espectrometría para determinar el porcentaje de cobre en el hierro nodular esto garantizara el porcentaje exacto de cobre en las probetas por el método de Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía Dispersiva (ED) de materiales.

4.3.1. Proceso de ensayo de espectrometría.

Cortar una muestra de las probetas de hierro nodular + 0.02 % Cu



Figura 4. 5 Corte de probetas.
Fuente: Autor.

Encender el espectrómetro OLIMPUSX



Figura 4. 6 Máquina OLIMPUSX.
Fuente: Autor.

Calibrar el equipo con la muestra que tiene el equipo de acero A316



Figura 4. 7 Probeta Acero A 316.
Fuente: Autor.

Una vez calibrado el equipo proceder a colocar la muestra de nuestro material.



Figura 4. 8 Puesta en funcionamiento de máquina OLIMPUS.
Fuente: Autor.



Ensayar el material y observar en la pantalla los porcentajes de elementos.





Figura 4. 9 Ensayo en máquina OLIMPUS.
Fuente: Autor.

4.3.2. Tabulación de resultados.

Se tabularon los resultados obtenidos por el equipo OLIMPUSX

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre						
ENSAYO DE ESPECTOMETRIA						
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero					
Máquina:	Espectrómetro OLIMPUSX					
Fecha:	05-jul-18	Ciudad:	Ambato			
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes			
PARÁMETROS DE ESPECTOMETRIA						
Tipo:	Rayos X					
Operador:	Ing. Esteban López					
Máquina:	Espectrómetro OLYMPUS DP02000-C					
Canal de Ensayo:	Energy Test					
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Probeta		Fe	Mn	Cu	Cr	Zr
1	% Contenido	99.19	0.55	0.018	0.07	0.008
	+/- Error	0.03	0.02	0.02	0.01	0.002
Nota: El resultado se realizó en el laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero						
OBSERVACIÓN			EVALUACIÓN			
Se realizó el ensayo de espectrometría de las probetas con 0.02 % de cobre.			Se llegó a verificar el % de Cobre que es de 0.018 % de Cobre.			
Elaborado por:	Sr. Marco Naranjo		Aprobado por:	Ing. Juan Paredes		
Revisado por:	Ing. Esteban López		Validado por:	Ing. Juan Paredes		

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre						
ENSAYO DE ESPECTOMETRIA						
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero					
Máquina:	Espectrómetro OLIMPUSX					
Fecha:	05-jul-18	Ciudad:	Ambato			
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes			
PARÁMETROS DE ESPECTOMETRIA						
Tipo:	Rayos X					
Operador:	Ing. Esteban López					
Máquina:	Espectrómetro OLYMPUS DP02000-C					
Canal de Ensayo:	Energy Test					
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO						
Probeta		Fe	Mn	Cu	Cr	Zr
2	% Contenido	98.95	0.57	0.018	0.10	0.022
	+/- Error	0.03	0.02	0.02	0.01	0.002
Nota: El resultado se realizó en el laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero						
OBSERVACIÓN				EVALUACIÓN		
Se realizó el ensayo de espectrometría de las probetas con 0.02 % de cobre.				Se llegó a verificar el % de Cobre que es de 0.018 % de Cobre.		
Elaborado por:	Sr. Marco Naranjo			Aprobado por:	Ing. Juan Paredes	
Revisado por:	Ing. Esteban López			Validado por:	Ing. Juan Paredes	

4.4. ENSAYO DE DUREZA.

El ensayo de dureza se realizó en las probetas de hierro nodular + 0.02 % Cu, para poder determinar los valores de dureza del material aleado.

4.4.1. Proceso de ensayo de dureza.

El ensayo se realizó en el Durómetro ERNST del centro carrocerero.



Figura 4. 10 Durómetro ERNSL.

Fuente: Autor.

Calibración con el patrón PR4. E-Cu-10 mm 92.2 HB/30 \pm 5.

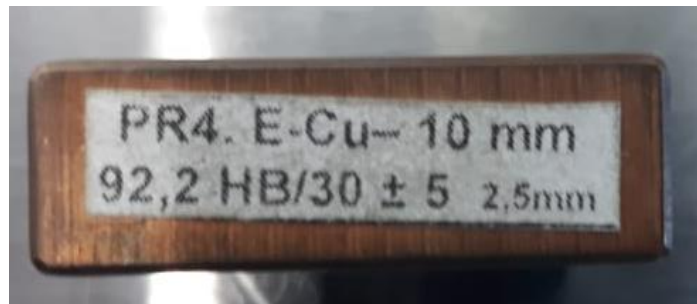


Figura 4. 11 Probeta de Calibración.

Fuente: Autor.

Se realizó 5 repeticiones en cada probeta para determinar la Dureza Brinell.





Figura 4. 12 Ensayo en 5 puntos.

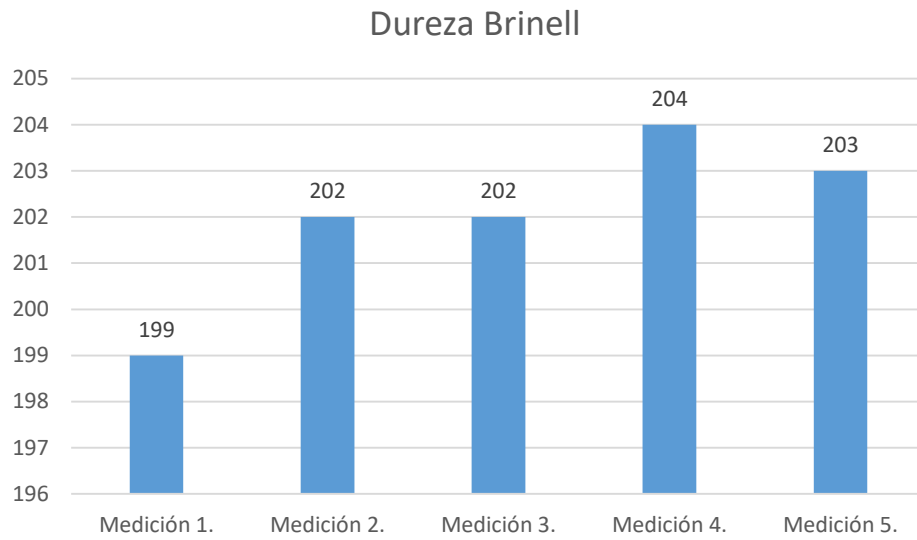
Fuente: Autor.

4.4.2. Tabulación de resultados



Se tabularon los datos obtenidos del durómetro ERNST

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre			
ENSAYO DE DUREZA			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Durómetro ERNST		
Fecha:	05-jul-18	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA			
Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador de 2mm		
Cantidad de carga:	180 lbf		
Tiempo de ensayo:	10 seg		
Humedad Relativa (%):	62.2		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			
Temperatura	Dureza Brinell		
19.4	Medición 1.	199	
	Medición 2.	202	
	Medición 3.	202	
	Medición 4.	204	
	Medición 5.	203	
	Promedio	202	
	Desviación estándar	1.87	
	Coefficiente de Variación	0.93	

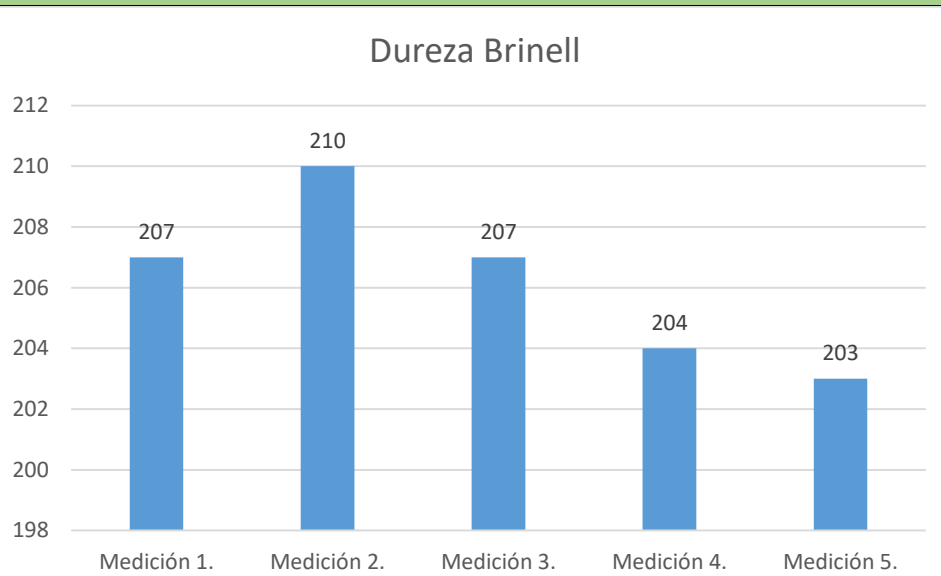
GRÁFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p style="text-align: center;">Se seleccionó la probeta con 0.02 % de cobre.</p> <p style="text-align: center;">Se realizaron 5 puntos de ensayo.</p>		<p style="text-align: center;">Se obtuvo un promedio de la dureza Brinell de 202.</p>	
Elaborado por:	Sr. Marco Naranjo	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Juan Paredes

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre			
ENSAYO DE DUREZA			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Durómetro ERNST		
Fecha:	05-jul-18	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA			
Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador de 2mm		
Cantidad de carga:	180 lbf		
Tiempo de ensayo:	10 seg		
Humedad Relativa (%):	62.2		
DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO REALIZADO			
Temperatura	Dureza Brinell		
19.4	Medición 1.	207	
	Medición 2.	210	
	Medición 3.	207	
	Medición 4.	204	
	Medición 5.	203	
	Promedio	206	
	Desviación estándar	2.77	
	Coficiente de Variación	1.35	

GRÁFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p>Se seleccionó la probeta con 0.02 % de cobre.</p> <p>Se realizaron 5 puntos de ensayo.</p>		<p>Se obtuvo un promedio de la dureza Brinell de 206.</p>	
Elaborado por:	Sr. Marco Naranjo	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Esteban López	Validado por:	Ing. Juan Paredes

4.5. ENSAYO DE MICROESTRUCTURA.

El ensayo de microestructura se realizó para determinar el porcentaje de ferrita y perlita en las probetas de hierro nodular + 0.02 % de Cu, este juego de probetas son las que cubrieron el grado 60-45-12.

4.5.1. Proceso para realizar el ensayo de microestructura:

Cortar la probeta.



Figura 4. 13 Corte de probetas.
Fuente: Autor.

Realizar el encapsulado de la muestra.



Figura 4. 14 Máquina de encapsulado.
Fuente: Autor.

Pulido de la probeta hasta que la cara quede como espejo.

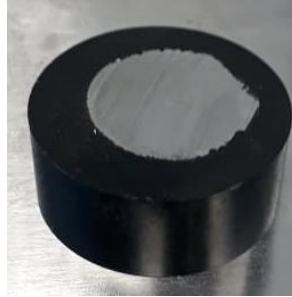


Figura 4. 15 Probeta encapsulada sin pulir.
Fuente: Autor.

Una vez pulida la probeta se procede a atacar con nital 2 durante 30 segundos, después se lava con agua y jabón.



Figura 4. 16 Probeta pulida y atacada con nital 2.
Fuente: Autor.

Secar la probeta con ayuda de un ventilador eléctrico.

Atacar las probetas con el químico Nital 2 durante 5 segundos.

Se captura las imágenes con ayuda de un microscopio Olympus BX41M-LED



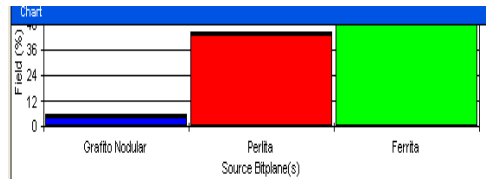
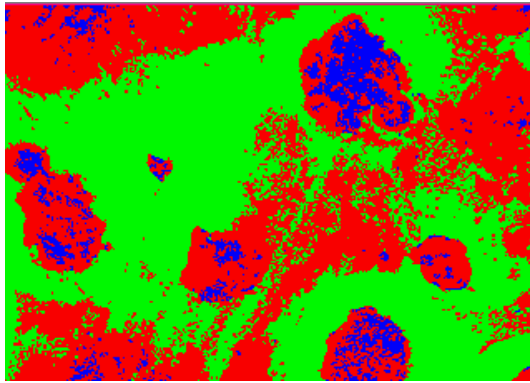
Figura 4. 17 Microscopio del Laboratorio de Ingeniería Mecánica.
Fuente: Autor.

4.5.2. Tabulación de resultados.

Los resultados se realizaron en la Universidad Técnica de Ambato.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre			
ENSAYO DE MICROESTRUCTURA			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Durómetro ERNST		
Fecha:	05-jul-18	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes
PARÁMETROS DE MICROESTRUCTURA			
Tipo de superficie	Pulido Mecánico Tipo Espejo		
Temperatura	28°C		
Ataque químico	Nital 2		
Tiempo de preparación de superficie	30 min		
Duración de ensayo	30 min		
Resultados: Fotografías de la microestructura de hierro nodular + 0.02 % Cu (200 X)			
FERRITA			GRAFITO NODULAR PERLITA
Hierro Fundido Nodular + 0.02 % Cu 200X, Nital 2, 5 seg.			
EVALUACIÓN DE MICROESTRUCTURA			
		Determinación de tamaño de EVALUACIÓN MICROESTRUCTURA grano DE Cálculos: NÓDULO GRANDE $\frac{(149.1 + 85)}{2} = 117.05 \mu\text{m}$ NÓDULO MEDIANO $\frac{(82 + 97)}{2} = 89.5 \mu\text{m}$ NÓDULO PEQUEÑO $\frac{(62 + 61)}{2} = 61.5 \mu\text{m}$	

PORCENTAJES DE COSTITUENTES



Source Bitplane(s)	Field (%)
Grafito Nodular	6,1 (4,7)
Perlita	44,6 (43,1)
Ferrita	50,7

OBSERVACIÓN

Se realizó el ensayo de microestructura en las probetas con el 0.02 % de Cu.

EVALUACIÓN

Se obtuvo un tamaño de grano grande de 117.05 μm , grano mediano 89.5 μm y grano pequeño 61.5 μm .

La composición del material es de 6.1 % de Grafito Nodular, 44.6 % de Perlita y 50.7 % de Ferrita.

Elaborado por: Sr. Marco Naranjo

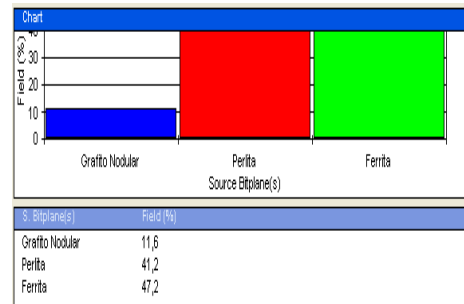
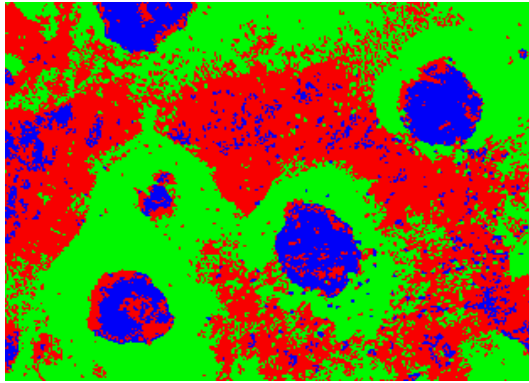
Aprobado por: Ing. Juan Paredes

Revisado por: Ing. Esteban López

Validado por: Ing. Juan Paredes

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre			
ENSAYO DE MICROESTRUCTURA			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Durómetro ERNST		
Fecha:	09-jul-18	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes
PARÁMETROS DE MICROESTRUCTURA			
Tipo de superficie	Pulido Mecánico Tipo Espejo		
Temperatura	28°C		
Ataque químico	Nital 2		
Tiempo de preparación de superficie	30 min		
Duración de ensayo	30 min		
Resultados: Fotografías de la microestructura de hierro nodular + 0.02 % Cu (200 X)			
PERLITA			GRAFITO NODULAR
FERRITA	Hierro Fundido Nodular + 0.02 % Cu 200X, Nital 2, 5 seg.		
EVALUACIÓN DE MICROESTRUCTURA			
		Determinación de tamaño de grano	
Cálculos:		NÓDULO GRANDE	
$\frac{(108 + 94)}{2} = 101 \mu m$		NÓDULO MEDIANO	
$\frac{(103 + 93)}{2} = 98 \mu m$		NÓDULO PEQUEÑO	
$\frac{(89 + 93.01)}{2} = 91.005 \mu m$			

PORCENTAJES DE COSTITUENTES



OBSERVACIÓN

Se realizó el ensayo de microestructura en las probetas con el 0.02 % de Cu.

EVALUACIÓN

Se obtuvo un tamaño de grano grande de 101 μm , grano mediano 98 μm y grano pequeño 91.005 μm .
La composición del material es de 11.6 % de Grafito Nodular, 41.2 % de Perlita y 47.2 % de Ferrita.

Elaborado por : Sr. Marco Naranjo

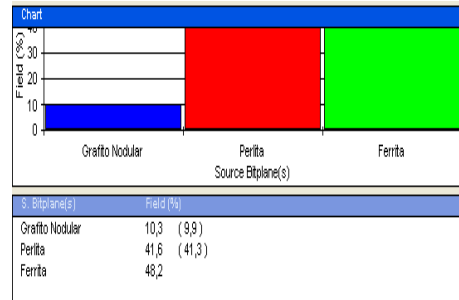
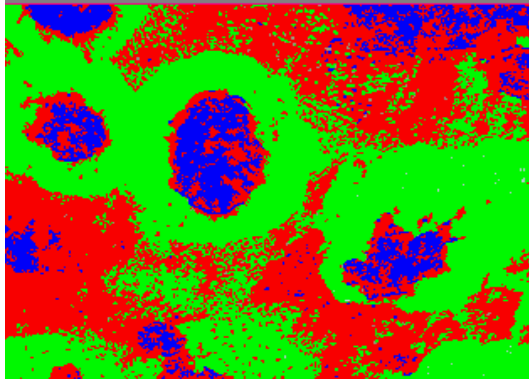
Aprobado por: Ing. Juan Paredes

Revisado por : Ing. Esteban López

Validado por: Ing. Juan Paredes

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre			
ENSAYO DE MICROESTRUCTURA			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Durómetro ERNST		
Fecha:	09-jul-18	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes
PARÁMETROS DE MICROESTRUCTURA			
Tipo de superficie	Pulido Mecánico Tipo Espejo		
Temperatura	28°C		
Ataque químico	Nital 2		
Tiempo de preparación de superficie	30 min		
Duración de ensayo	30 min		
Resultados: Fotografías de la microestructura de hierro nodular + 0.02 % Cu (200 X)			
FERRITA			GRAFITO
PERLITA			NODULAR
Hierro Fundido Nodular + 0.02 % Cu 200X, Nital 2, 5 seg.			
EVALUACIÓN DE MICROESTRUCTURA			
		Determinación de tamaño de grano	
		Cálculos:	
NÓDULO GRANDE $\frac{(158 + 110)}{2} = 134 \mu m$		NÓDULO MEDIANO $\frac{(83.01 + 95.01)}{2} = 89.01 \mu m$	
NÓDULO PEQUEÑO $\frac{(42.01 + 56)}{2} = 49.005 \mu m$			

PORCENTAJES DE COSTITUENTES



OBSERVACIÓN

Se realizó el ensayo de microestructura en las probetas con el 0.02 % de Cu.

EVALUACIÓN

Se obtuvo un tamaño de grano grande de 134 μm , grano mediano 89.01 μm y grano pequeño 49.005 μm .

La composición del material es de 10.3 % de Grafito Nodular, 41.6 % de Perlita y 48.2 % de Ferrita.

Elaborado por : Sr. Marco Naranjo

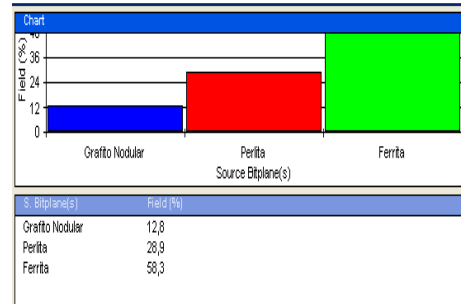
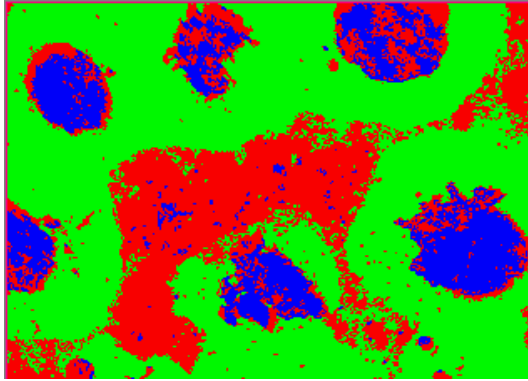
Aprobado por: Ing. Juan Paredes

Revisado por : Ing. Esteban López

Validado por: Ing. Juan Paredes

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre			
ENSAYO DE MICROESTRUCTURA			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Durómetro ERNST		
Fecha:	09-jul-18	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes
PARÁMETROS DE MICROESTRUCTURA			
Tipo de superficie	Pulido Mecánico Tipo Espejo		
Temperatura	28°C		
Ataque químico	Nital 2		
Tiempo de preparación de superficie	30 min		
Duración de ensayo	30 min		
Resultados: Fotografías de la microestructura de hierro nodular + 0.02 % Cu (200 X)			
GRAFITO NODULAR FERRITA			PERLITA
Hierro Fundido Nodular + 0.02 % Cu 200X, Nital 2, 5 seg.			
EVALUACIÓN DE MICROESTRUCTURA			
		Determinación de tamaño de grano Cálculos: NÓDULO GRANDE $\frac{(130 + 120)}{2} = 125 \mu m$ NÓDULO MEDIANO $\frac{(106 + 92.02)}{2} = 99.01 \mu m$ NÓDULO PEQUEÑO $\frac{(92 + 96)}{2} = 94 \mu m$	

PORCENTAJES DE COSTITUENTES



OBSERVACIÓN

Se realizó el ensayo de microestructura en las probetas con el 0.02 % de Cu.

EVALUACIÓN

Se obtuvo un tamaño de grano grande de 125 μm , grano mediano 99.01 μm y grano pequeño 94 μm .

La composición del material es de 12.8 % de Grafito Nodular, 28.9 % de Perlita y 58.3 % de Ferrita.

Elaborado por :

Sr. Marco Naranjo

Aprobado por:

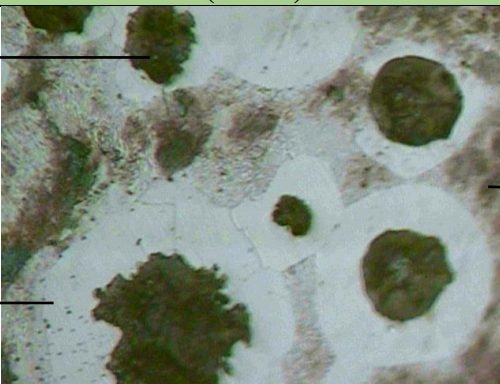
Ing. Juan Paredes

Revisado por :

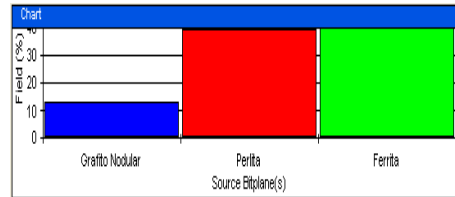
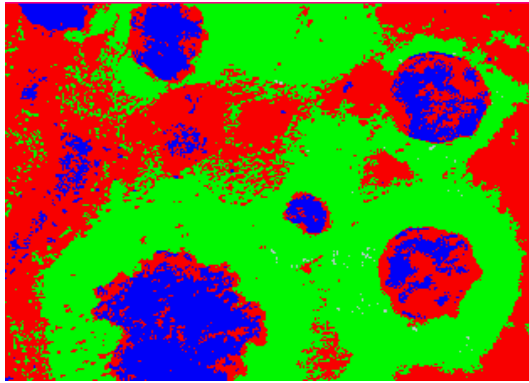
Ing. Esteban López

Validado por:

Ing. Juan Paredes

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre				
ENSAYO DE MICROESTRUCTURA				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
Máquina:	Durómetro ERNST			
Fecha:	09-jul-18	Ciudad:	Ambato	
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes	
PARÁMETROS DE MICROESTRUCTURA				
Tipo de superficie	Pulido Mecánico Tipo Espejo			
Temperatura	28°C			
Ataque químico	Nital 2			
Tiempo de preparación de superficie	30 min			
Duración de ensayo	30 min			
Resultados: Fotografías de la microestructura de hierro nodular + 0.02 % Cu (200 X)				
GRAFITO				PERLITA
NODULAR				
FERRITA				
Hierro Fundido Nodular + 0.02 % Cu 200X, Nital 2, 5 seg.				
EVALUACIÓN DE MICROESTRUCTURA				
		Determinación de tamaño de grano		
		Cálculos:		
NÓDULO GRANDE $\frac{(115 + 117)}{2} = 116 \mu m$		NÓDULO MEDIANO $\frac{(118 + 110)}{2} = 114 \mu m$		
NÓDULO PEQUEÑO $\frac{(50.01 + 52)}{2} = 51.005 \mu m$				

PORCENTAJES DE COSTITUYENTES



Source Bitplane(s)	Field (%)
Grafito Nodular	13,2
Perlita	39,6
Ferrita	47,1

OBSERVACIÓN

Se realizó el ensayo de microestructura en las probetas con el 0.02 % de Cu.

EVALUACIÓN

Se obtuvo un tamaño de grano grande de 116 μm , grano mediano 114 μm y grano pequeño 51.005 μm .

La composición del material es de 13.2 % de Grafito Nodular, 39.6 % de Perlita y 47.1 % de Ferrita.

Elaborado por : Sr. Marco Naranjo

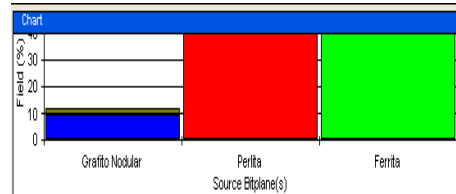
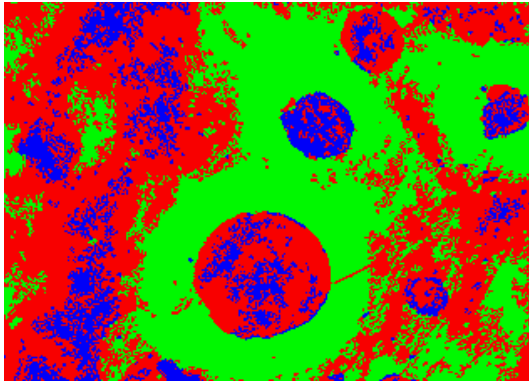
Aprobado por: Ing. Juan Paredes

Revisado por : Ing. Esteban López

Validado por: Ing. Juan Paredes

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.02 % de Cobre			
ENSAYO DE MICROESTRUCTURA			
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Durómetro ERNST		
Fecha:	09-jul-18	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Marco Naranjo	Revisado por:	Ing. Juan Paredes
PARÁMETROS DE MICROESTRUCTURA			
Tipo de superficie	Pulido Mecánico Tipo Espejo		
Temperatura	28°C		
Ataque químico	Nital 2		
Tiempo de preparación de superficie	30 min		
Duración de ensayo	30 min		
Resultados: Fotografías de la microestructura de hierro nodular + 0.02 % Cu (200 X)			
PERLITA ←			GRAFITO NODULAR →
FERRITA ←			
Hierro Fundido Nodular + 0.02 % Cu 200X, Nital 2, 5 seg.			
EVALUACIÓN DE MICROESTRUCTURA			
		Determinación de tamaño de grano	
		Cálculos:	
		NÓDULO GRANDE $\frac{(162 + 148)}{2} = 155 \mu m$	
		NÓDULO MEDIANO $\frac{(82.05 + 74)}{2} = 78.025 \mu m$	
		NÓDULO PEQUEÑO $\frac{(57.01 + 53.01)}{2} = 55.01 \mu m$	

PORCENTAJES DE COSTITUYENTES



Componente	Field (%)
Grafito Nodular	11,7 (9,5)
Perlita	48,8 (46,6)
Ferrita	41,7

OBSERVACIÓN

Se realizó el ensayo de microestructura en las probetas con el 0.02 % de Cu.

EVALUACIÓN

Se obtuvo un tamaño de grano grande de 155 μm , grano mediano 78.025 μm y grano pequeño 55.01 μm .

La composición del material es de 11.7 % de Grafito Nodular, 48.8 % de Perlita y 41.7 % de Ferrita.

Elaborado por :

Sr. Marco Naranjo

Aprobado por:

Ing. Juan Paredes

Revisado por :

Ing. Esteban López

Validado por:

Ing. Juan Paredes

4.6. ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA

4.6.1. Proceso para realizar el ensayo de fractografía:

Cortar la probeta.

Realizar el montaje de las probetas.



Figura 4. 18 Montado de probetas.

Fuente: Autor.

Encendido del microscopio de barrido.

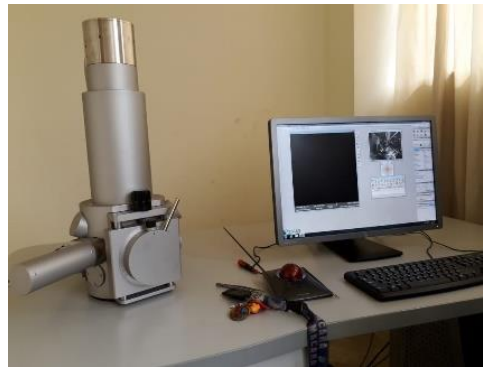


Figura 4. 19 Microscopio de barrido.

Fuente: Autor.

Abrir el gas para la capsula de la máquina y proceder a colocar las probetas en la máquina.

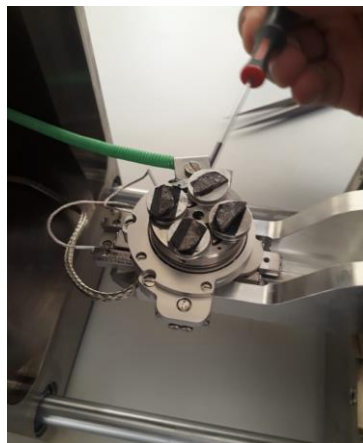


Figura 4. 20 Montaje de probetas en microscopio de barrido.

Fuente: Autor.

Revisar el tipo de fractografía en el metal hadbook.

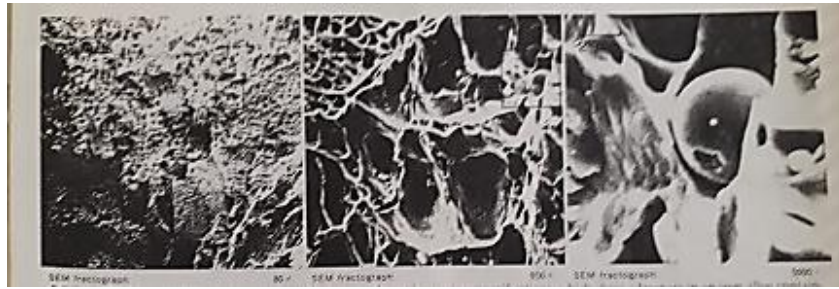


Figura 4. 21 Imagen de tipo de fractura del Metal Hadbook.

Fuente: Autor.

Tomar las fotografías con los aumentos que indica el metal hadbook.

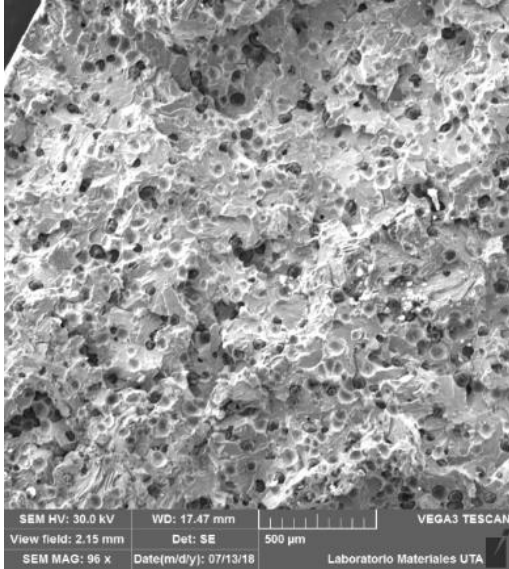


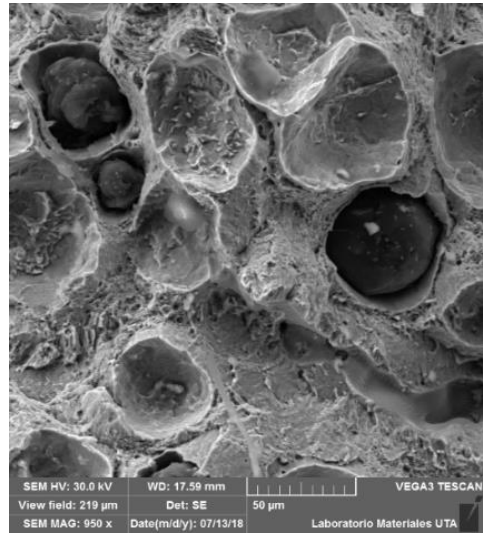
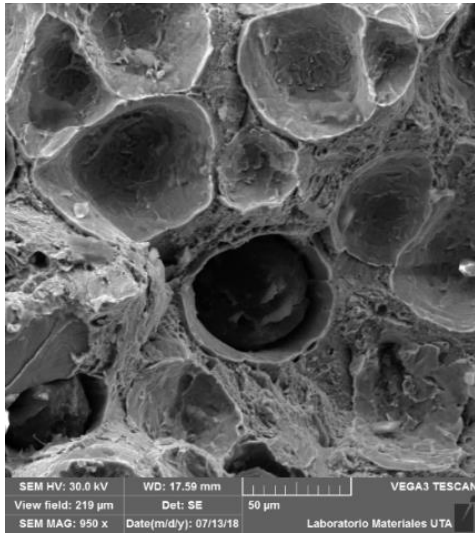
Figura 4. 22 Fotografía del ensayo de fractografía.

Fuente: Autor.

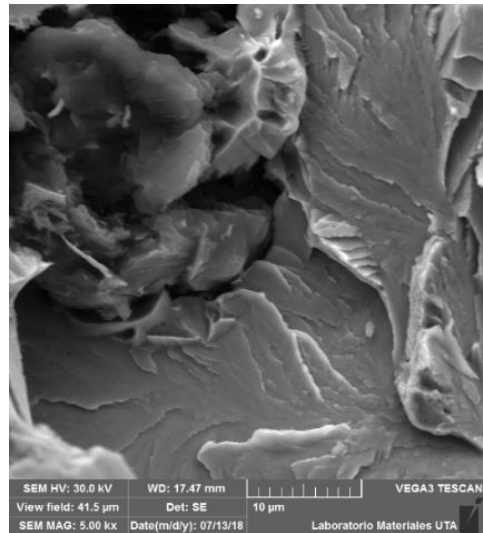
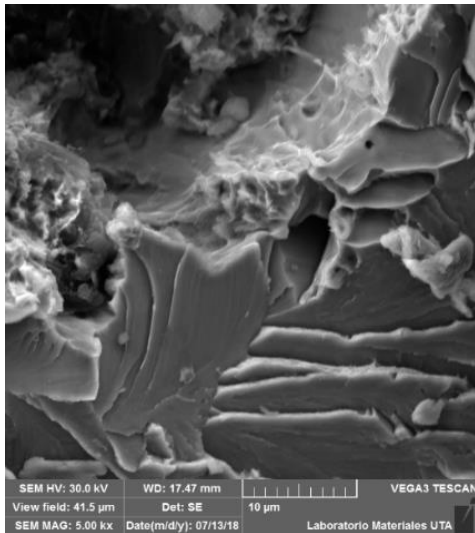
4.6.2. Tabulación de resultados.

Los resultados se realizaron en la Universidad Técnica de Ambato.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO Hierro Nodular + 0.002 % de Cobre					
ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA					
Lugar:		UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO			
Máquina:		Microscopio de barrido VEGA 3			
Fecha:		16-jul-18		Ciudad: Ambato	
Responsable:		Sr. Marco Naranjo		Revisado por: Ing. Juan Paredes	
PARÁMETROS ESTABLECIDOS PARA EL ENSAYO					
Voltaje:			30,0 KV		
Número de probetas:			2		
Resultados: Fotografías de la microestructura de hierro nodular + 0.02 % Cu (96 X)					
					
Resultados: Fotografías de la microestructura de hierro nodular + 0.02 % Cu (950 X)					



Resultados: Fotografías de la microestructura de hierro nodular + 0.02 % Cu (5000 X)



OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p>Se realizaron las fotografías en la muestra con el 0.02 % de Cobre.</p>		<p>El ensayo de fractografía resulta una fractura frágil que ocurre durante la deformación plástica, este tipo de fractura se presenta en materiales no cristalinos y aplicación de esfuerzos muy elevados.</p>	
<p>Elaborado por :</p>	<p>Sr. Marco Naranjo</p>	<p>Aprobado por:</p>	<p>Ing. Juan Paredes</p>
<p>Revisado por :</p>	<p>Ing. Esteban López</p>	<p>Validado por:</p>	<p>Ing. Juan Paredes</p>

4.7. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.

Para la verificación de la hipótesis se utilizó la distribución T-Student para las propiedades del material como resistencia a la tracción, límite de fluencia y porcentaje de elongación.

El grupo con el 0.02 % de Cu se analizará para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis

Ho: Hipótesis Nula

Hi: Hipótesis Alternativa

Ho: La influencia del cobre en la obtención de fundición nodular para alcanzar el grado 65-45-12 bajo la NORMA NTE INEN 2499-2009 en la empresa Fundi Laser no mejorará las propiedades mecánicas.

Hi: La influencia del cobre en la obtención de fundición nodular para alcanzar el grado 65-45-12 bajo la NORMA NTE INEN 2499-2009 en la empresa Fundi Laser mejorará las propiedades mecánicas.

La hipótesis se comprobó utilizando una prueba bilateral es decir de dos colas, con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%.

Cálculo de la probabilidad, utilizando la ecuación (3)

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad (3)$$

Donde:

P= Probabilidad

α = Nivel de significancia

Reemplazando:

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0.05$$

Cálculo de grados de libertad, utilizando la ecuación (4)

$$G1 = n - 1 \quad (4)$$

Donde:

G1= Grados de libertad

n= Número de muestras grupo

Reemplazando:

$$G1 = 6 - 1$$

$$G1 = 5$$

Con los valores de la probabilidad de 0.05 % y grados de libertad 5 se encuentra el valor t tabulado (t_{tabu}) en la tabla de distribución T-Student.

$$T_{\text{tabu}} = \pm 2,0150$$

Tabla 4. 7 Datos base para la verificación de la hipótesis de resistencia a la tracción.

N° Probetas	Resistencia a la tracción 0,02 % Cu (MPa)	Resistencia a la tracción grado 60-45-12 (MPa)	H	H ^ 2
1	791,43	448,00	343,43	117947,03
2	702,45	448,00	254,45	64743,41
3	770,40	448,00	322,40	103939,84
4	745,41	448,00	297,41	88454,11
5	723,57	448,00	275,57	75938,47
6	705,81	448,00	257,81	66467,57
		Σ	1751,07	517490,45
		Promedio	291,85	

Fuente: Autor.

Calculo de varianza, utilizando ecuación (5)

$$G1 = n - 1 \quad (5)$$

$$S^2d = \frac{\sum H^2 + \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n - 1)}$$

Donde:

S2d = Desviación

H = Diferencia entre los datos

n = Número de datos

Reemplazando:

$$S^2d = \frac{517490,45 + \frac{(1751,07)^2}{6}}{6(6-1)}$$

$$S^2d = 214,92$$

$$Sd = 14,66$$

Se procede a calcular la t calculada con la ecuación (6)

$$t_{cal} = \frac{H \text{ promedio}}{sd} \quad (6)$$

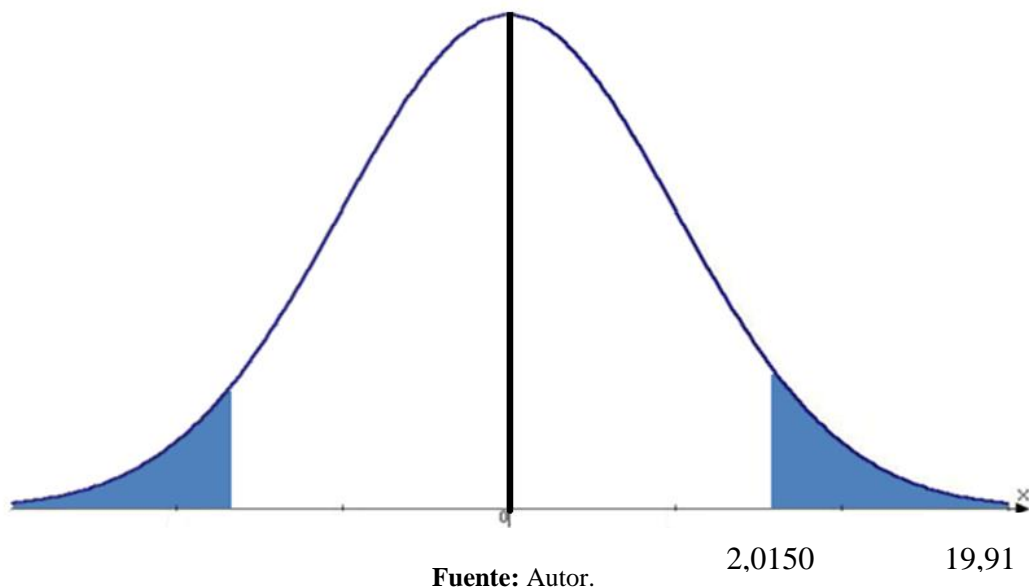
Reemplazando:

$$t_{cal} = \frac{291,85}{14,66}$$

$$t_{cal} = 19,91$$

$$t_{cal} = 19,91 > t_{tab} = 2,0150$$

Gráfica 4. 5 Gráfica T-Student. resistencia a la tracción.



El tcal es mayor al ttab por lo que se acepta la hipótesis alterna.

Tabla 4. 8 Datos base para la verificación de la hipótesis con el límite de fluencia.

N° Probetas	Límite de fluencia (MPa) 0,02 % Cu	Límite de fluencia (MPa) grado 60-45-12	H	H ^ 2
1	348,84	310,00	38,84	1508,5456
2	309,05	310,00	-0,95	0,89748978
3	339,39	310,00	29,39	863,731356
4	328,01	310,00	18,01	324,396851
5	318,57	310,00	8,57	73,4708136
6	310,39	310,00	0,39	0,15157768
Σ			94,25	2771,19369
Promedio			15,71	

Fuente: Autor.

Calculo de varianza, utilizando ecuación (5)

$$S^2d = \frac{\sum H^2 + \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)}$$

Reemplazando:

$$S^2d = \frac{2771,19369 + \frac{(94,25)^2}{6}}{6(6-1)}$$

$$S^2d = 43,02$$

$$Sd = 6,56$$

Se procede a calcular la t calculada con la ecuación (6)

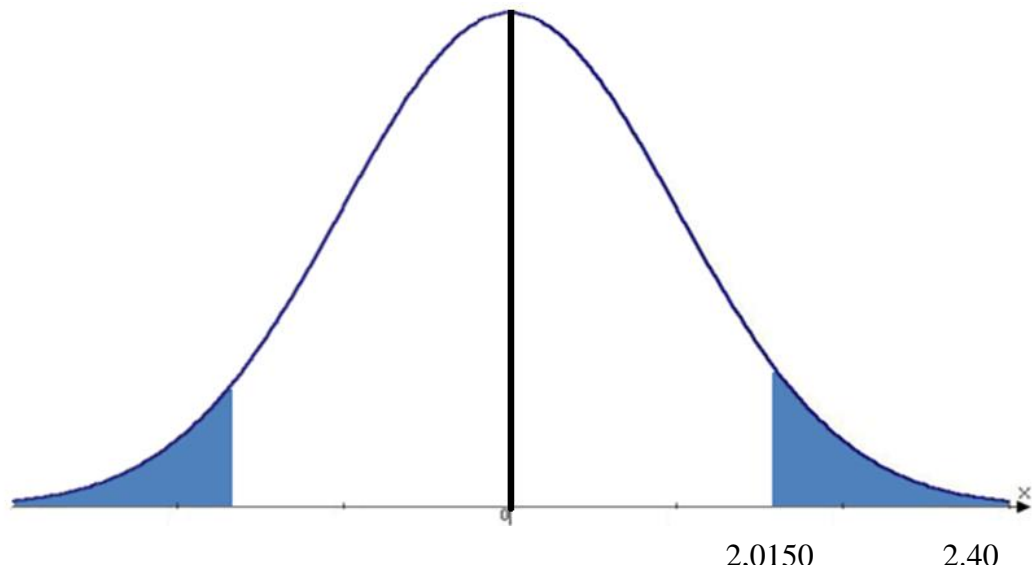
$$t_{cal} = \frac{H \text{ promedio}}{sd}$$

$$t_{cal} = \frac{15,71}{6,56}$$

$$t_{cal} = 2,40$$

$$t_{cal} = 2,40 > t_{tab} = 2,0150$$

Gráfica 4. 6 Gráfica T-Student límite de fluencia.



Fuente: Autor.

El t_{cal} es mayor al t_{tab} por lo que se acepta la hipótesis alterna.

Tabla 4. 9 Datos base para la verificación de la hipótesis con el % Elongación

N° Probetas	% Elongación 0,02 % Cu	% Elongación grado 60-45-12	H	H ^ 2
1	12,66	12,00	0,66	0,4356
2	12,50	12,00	0,50	0,25
3	12,88	12,00	0,88	0,7744
4	12,10	12,00	0,10	0,01
5	13,32	12,00	1,32	1,7424
6	13,48	12,00	1,48	2,1904
Σ			4,94	5,4028
Promedio			0,82	

Fuente: Autor.

Calculo de varianza, utilizando ecuación (5)

$$S^2d = \frac{\sum H^2 + \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n - 1)}$$

Reemplazando:

$$S^2d = \frac{5,4028 + \frac{(4,94)^2}{6}}{6(6 - 1)}$$

$$S^2d = 0,04$$

$$Sd = 0,21$$

Se procede a calcular la t calculada con la ecuación (6)

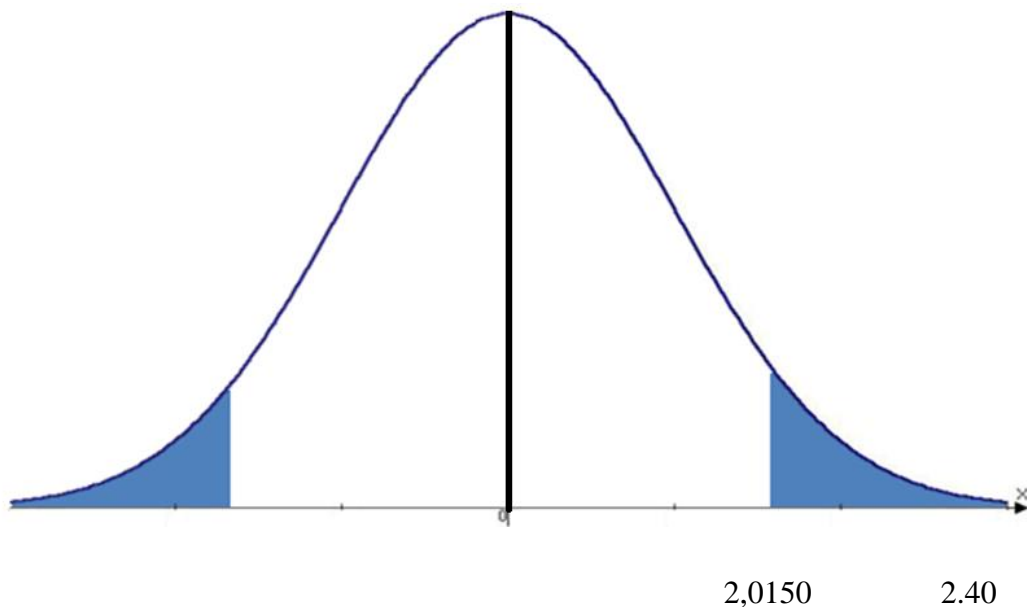
$$t_{cal} = \frac{H \text{ promedio}}{sd}$$

$$t_{cal} = \frac{0,82}{0,21}$$

$$t_{cal} = 3,90$$

$$t_{cal} = 3,90 > t_{tab} = 2,0150$$

Gráfica 4. 7 Gráfica T-Student % Elongación.



Fuente: Autor.

El tcal es mayor que la ttab por lo que se acepta la hipótesis alterna.

En la valoración de las tres propiedades mecánicas se afirmó la hipótesis alterna H_1 : La influencia del cobre en la obtención de fundición nodular para alcanzar el grado 65-45-12 bajo la NORMA NTE INEN 2499-2009 en la empresa Fundi Laser mejorará las propiedades mecánicas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se estableció al cobre como un material aleante en el hierro nodular por ser un promotor de perlita e incrementar sustancialmente la dureza del material base. Llegando a cubrir las propiedades del grado 65-45-12 de la norma NTE INEN 2499-2009.
- Se determinó que al añadir el 0.02 % de cobre se mejoran las propiedades mecánicas necesarias para alcanzar el grado 60-45-12 propuesto por la norma NTE INEN 2499.
- Realizando el ensayo de tracción al grupo de probetas con el 0.02 % de cobre bajo la norma ASTM D.3. se obtuvo una resistencia a la tracción de 739.85 MPa, un límite de fluencia de 313.57 y un porcentaje de elongación de 12.82, llegando a cubrir las propiedades necesarias para cubrir el grado 60-45-12.
- En el ensayo de espectrometría bajo la norma ASTM E 415 se determinó que la composición química para el grupo con 0.02 % de Cobre es de, 0.018 % de Cu, 99.07 % Fe, 0.56% Mn, 0.085 % Cr y 0.01 % Zr.
- Al analizar las probetas del 0.02 % de Cu se obtiene una dureza Brinell de 202 según la norma ASTM E 10.
- Se establece al realizar el ensayo de microestructura según la norma ASTM E 3 que en las probetas con el 0.02 % de Cu que la matriz ferrítica cambia a perlítica teniendo una matriz ferrítica-perlítica con un tamaño de grano grande promedio de 100 μm , grano mediano de 94.05 μm y grano pequeño de 66.91 μm .
- Al realizar el ensayo de fractografía se obtuvo una fractura frágil que ocurre antes o durante del momento en que se presenta una deformación plástica, este tipo de fractura se presenta en materiales no cristalinos y aplicación de esfuerzos muy elevados según el Metal Hand Book.
- Comparando todos los grupos de probetas en el ensayo de tracción según la norma ASTM E 8 se determinó que al aumentar el porcentaje de cobre la resistencia a la

tracción aumenta en pequeñas porciones, el límite a la fluencia incrementa y el porcentaje a la elongación disminuye.

5.2.RECOMENDACIONES

- Se debe medir las porciones de cobre ya que si se excede del 0.07 % las propiedades mecánicas de la aleación no cambian.
- Verificar que los ensayos propuestos por la norma NTE INEN 2499 para cubrir los rangos del material se puedan realizar en los laboratorios de la universidad o del país.
- Realizar la calibración de todos los equipos antes de tomar muestras de las probetas para obtener valores acertados.
- Al realizar el ensayo de espectrometría con un espectrómetro de rayos x se debe proteger de la radiación que emana ya que puede afectar a la persona que lo realiza.
- Comprobar en la elaboración de las probetas que estas no tengan fallas como porosidades o fracturas internas.
- Una vez coladas las probetas realizadas por fundición dejar que se enfríen en la arena para evitar temple por enfriamiento brusco y así cambiar las propiedades del material.
- Comprobar que las probetas maquinadas tengan las dimensiones correctas y solicitadas por la Norma ASTM E8.
- En los ensayos de espectrometría y dureza se debe calibrar los equipos con la probeta base para tener valores exactos en el momento de su ejecución.
- Se debe comparar el ensayo de fractografía con los materiales analizados por el Metal Hadbook para determinar el tipo de fractura.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. G. A. F. T. J. Ramos, «Wear and Mechanical Properties of Nodular Iron Modified with Copper,» *International Science Index, Materials and Metallurgical Engineering*, vol. 9, n° 3, pp. 447-450, 2015.
- [2] L. Rao, «Influence of the composition ratio of manganese and copper on the mechanical properties and the machining performance of ductile iron,» *International Science Index, Materials and Metallurgical Engineering*, vol. 21, pp. 574-579, 2014.
- [3] S. R. F., «Influencia del cobre en la transformación Gamma-Alfa en la fundición gris y nodular-templabilidad,» Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 2011.
- [4] I. N. Rizzo, «Fundición nodular del alto rendimiento,» *Proyecto mejora de las economías regionales y desarrollo local*, vol. 9, 2014.
- [5] I. E. D. NORMALIZACIÓN, «NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 499:2009». Quito-Ecuador 25 Febrero 2008.
- [6] A. E8, «Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials». 2013.
- [7] J. W. D. Callister., *Propiedades Mecánicas de los Metales en Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, ed. , , pp. ., 4ta ed., Barcelona: Reverte S. A, 1995, pp. 114-136.
- [8] A. D. E. 3. ±, «Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens». 2013.
- [9] A. E. 10, «Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials». 2013.

- [10] Química farmacéutica, ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN CON FUENTE DE ARCO Y CHISPA, 2015.
- [11] A. E415, «Standard Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Stee». 2013.
- [12] M. I. R. J. Acuña, «FRACTOGRAFIA,» de *Aplicaciones al Análisis de Fallas*, Buenos Aires, Comisión Nacional de Energía Atómica, pp. 1-2.

ANEXOS

ANEXO A: Norma para, NTE INEN 2499 2009

ANEXO B: Norma para, ASTM E3.

ANEXO C: Norma para, ASTM E8.

ANEXO D: Norma para, ASTM E10.

ANEXO E: Norma para, ASTM E415.

ANEXO F: Informe de ensayo a tracción, por parte del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

ANEXO G: Informe de dureza, por parte del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

ANEXO H: Informe de ensayo de espectrometría, por parte del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

ANEXO I: Informe de ensayo de fractografía, por parte de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

ANEXO I: Tabla T-Student.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 499:2009

FUNDICIÓN NODULAR (HIERRO DÚCTIL). REQUISITOS.

Primera Edición

NODULAR CASTING (DUCTILE IRON). REQUIREMENTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Metalurgia, productos de hierro y acero, hierro dúctil, requisitos.

MC 06.08-403

CDU: 669.131.7

CIIU: 3819

ICS: 77.140.80

<p>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</p>	<p>FUNDICIÓN NODULAR (HIERRO DÚCTIL). REQUISITOS.</p>	<p>NTE INEN 2 499:2009 2009-05</p>
--	--	---

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos para los elementos fundidos en fundición nodular, también conocido como esferoidal o hierro dúctil, que es descrito como fundición de hierro con grafito substancialmente en forma esferoidal y esencialmente libre de otras formas de grafito.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma es aplicable para fundiciones de hierro nodular destinadas a propósitos generales de ingeniería en los cuales se generen esfuerzos de tracción. (Productos artísticos, piezas bajo pedido del cliente con especificaciones especiales, válvulas e hidrantes, uniones universales para tuberías, bancas de parque, accesorios de jardinería, tapas de alcantarillado, rejillas, etc.).

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la Norma ASTM A 644, y las que a continuación se detallan:

3.1.1 *Fundición de grafito esferoidal.* Hierro fundido cuyos elementos básicos son hierro y carbono, presentándose este último elemento, principalmente en forma de partículas esferoidales de grafito.

3.1.2 *Tratamiento de esferoidización del grafito.* Tratamiento que consiste en añadir una sustancia a la fundición en estado de fusión, para que el grafito adopte una forma esferoidal durante la solidificación.

4. CLASIFICACIÓN

4.1 Las fundiciones de hierro dúctil se clasifican de acuerdo al grado de resistencia mecánica que se muestra en la tabla 1 y la tabla 2.

TABLA 1. Requerimientos de tensión

	GRADO				
	60-40-18	65-45-12	80-55-06	100-70-03	120-90-02
Resistencia a la tracción mínimo (MPa)	414	448	552	689	827
Limite de fluencia mínimo (MPa)	276	310	379	483	621
Elongación en 50mm mínimo %	18	12	6,0	3,0	2,0

(Continúa)

DESCRIPTORES: Metalurgia, productos de hierro y acero, hierro dúctil, requisitos

TABLA 2. Requerimientos de tensión para aplicaciones especiales

	GRADO		
	60-42-10	70-50-05	80-60-03
Resistencia a la tracción mínimo (MPa)	415	485	555
Límite de fluencia mínimo (MPa)	290	345	415
Elongación en 50 mm mínimo %	10	5	3,0

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Información requerida para los pedidos

5.1.1 Las órdenes para material bajo esta norma deberán incluir la siguiente información:

5.1.1.1 Número de NTE INEN de referencia.

5.1.1.2 Grado requerido de hierro nodular (ver tabla 1, numeral 6.1 y Anexo B).

5.1.1.3 Propiedades especiales, en caso se requieran (ver numeral 7.1).

5.1.1.4 Si se requiere un número diferente de muestras.

5.1.1.5 En caso se requiera Certificación (ver numeral 9.3).

5.1.1.6 En caso se requiera preparación especial para despacho (ver numeral 7.4).

5.2 En relación a las propiedades del hierro. No se debe establecer ninguna relación cuantitativa entre los diferentes sitios de la pieza fundida y de aquellas muestras tomadas del mismo hierro (ver Anexo A.1).

6. REQUISITOS

6.1 Específicos

6.1.1 Mecánicos

6.1.1.1 El hierro representado por la prueba de las muestras será de conformidad a los requerimientos según las propiedades de tensión presentadas en las tablas 1 y 2. Los hierros listados en la tabla 1 cubren los de uso general, mientras que los listados en la tabla 2 son utilizados para aplicaciones especiales (tuberías, accesorios, etc.).

6.1.1.2 El límite de fluencia deberá ser determinado con una desviación del 0,2% de acuerdo al método de desviación de norma ASTM E8. Otros métodos pueden ser utilizados por mutuo acuerdo entre el fabricante y el comprador.

6.1.2 *Químicos.* El propósito de esta norma es subordinar la composición química a las propiedades mecánicas; sin embargo, cualquier requisito químico puede ser especificado por acuerdo entre el fabricante y el comprador y/o usuario. (Ver Anexo B).

6.1.3 Tratamiento térmico

6.1.3.1 El grado 60-40-18 normalmente requerirá revenido para una total ferritización.

(Continúa)

6.1.3.2 Los grados 120-90-02 y 100-70-03 generalmente requieren templado por inmersión y revenido, o un normalizado y revenido, o un tratamiento isotérmico.

6.1.3.3 Los otros dos grados pueden ser obtenidos tal cual salen de la fundición o con tratamiento térmico.

6.1.3.4 El hierro nodular que ha sido tratado al calor por inmersión para obtener martensita y temperado puede tener una resistencia a la fatiga sustancialmente menor en relación al material que sale tal cual de la fundición con una misma dureza

6.1.4 Dimensionales

6.1.4.1 Las piezas fundidas deben ajustarse a las dimensiones entregadas en los planos por el comprador y/o usuario, o si no hay planos, a las dimensiones estipuladas por el equipo representante del comprador y/o usuario.

6.1.4.2 El método de ensayo utilizado para verificar los requisitos dimensionales es responsabilidad del fabricante.

FIGURA 1. Bloque de quilla para probetas de ensayo

La longitud del bloque de quilla será de (152 mm)

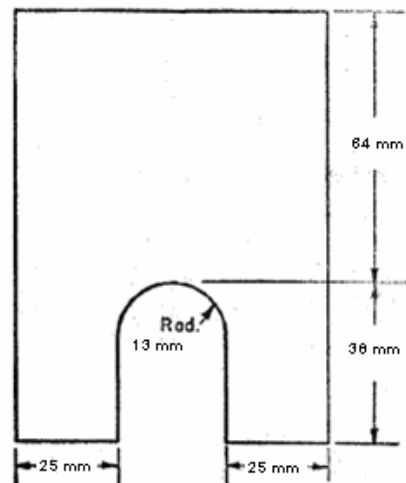
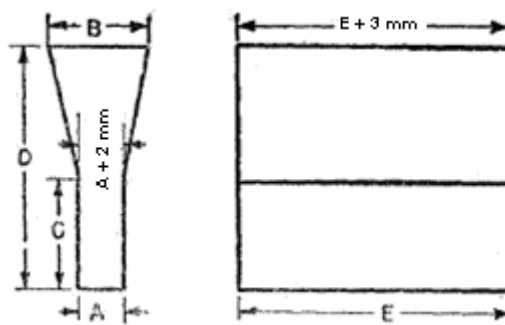


FIGURA 2. Bloque "Y"



(Continúa)

TAMAÑO DE BLOQUE "Y"			
DIMENSIÓN	Para espesores de piezas fundidas menores a 13 mm	Para espesores de piezas fundidas entre 13 mm y 38 mm	Para espesores de piezas fundidas mayores a 38 mm
A	13	25	75
B	40	54	125
C	50	75	100
D	100	150	200
E	175	175	175
	aprox.	aprox.	aprox.

6.1.4.3 Probetas para ensayo

- a) Las muestras fundidas separadamente son maquinadas para obtener las probetas para los ensayos de tracción y deberán ser fundidas según el tamaño y forma indicados en la figura 1 o figura 2.
- b) Un bloque de quilla modificado, fundido del molde mostrado en la Figura 3 puede ser sustituido por el bloque tipo Y de 25 mm o por el bloque tipo quilla de 25 mm.
- c) Las probetas para ensayos serán fundidas en moldes abiertos con arena apropiada para machos.
- d) Las probetas de ensayo deben permanecer en el molde hasta que se hayan enfriado y presenten un color negro (aproximadamente 482 °C o menos).
- e) El tamaño de la muestra fundida que representa las piezas fundidas será seleccionado por el comprador, caso contrario el fabricante efectuará la selección.

6.1.4.4 Cuando se realicen piezas fundidas con especificaciones más estrictas, el fabricante podrá utilizar probetas de ensayo de fundición incorporadas en el molde con la pieza de fundición, o fundir separadamente utilizando el mismo tipo de molde y las mismas condiciones de temperatura que se utilizó para la producción de las piezas de fundición. Estas probetas de ensayo serán hechas de acuerdo a las dimensiones ilustradas en la figura 1 de la norma ASTM A 732/A 732 M o figuras 5 de los métodos de ensayo y definiciones de la Norma ASTM A 370.

6.1.4.5 El fabricante podrá utilizar probetas de ensayo fundidas separadamente o probetas de ensayo cortadas de la pieza fundida, cuando las piezas fundidas hechas según esta norma sean nodulizadas o inoculadas en el molde.

6.1.4.6 Las probetas de ensayos fundidos separadamente tendrán una composición química, que sea representativa de las piezas fundidas, producidas de la cuchara de colado y con una tasa de enfriamiento equivalente a la obtenida con los moldes de ensayo ilustrados en las figuras 1 y 2, figuras de 4 a 5, o en el Anexo A.2.

6.1.4.7 El tamaño (tasa de enfriamiento) de la probeta escogida para representar las piezas de fundición, debería ser decidido por el comprador. Si el tamaño de la probeta de ensayo no está determinado, el fabricante lo seleccionará.

6.1.4.8 Cuando las barras de ensayo vayan a ser cortadas de las piezas de fundición, la ubicación de dichas barras será de mutuo acuerdo entre el comprador y el fabricante y, será indicado en los planos de la pieza de fundición.

6.1.4.9 El fabricante mantendrá suficientes controles y documentación de control para asegurar al comprador que las propiedades determinadas en las probetas de ensayo o en las barras de ensayo son representativas de las piezas fundidas enviadas.

(Continúa)

6.1.4.10 Las probetas de ensayo serán coladas de la misma cuchara o colada de las piezas de fundición que representan.

6.1.4.11 Las probetas estarán sujetas al mismo tratamiento térmico que las piezas de fundición a la que representan.

FIGURA 3. Molde para bloque de quilla modificado

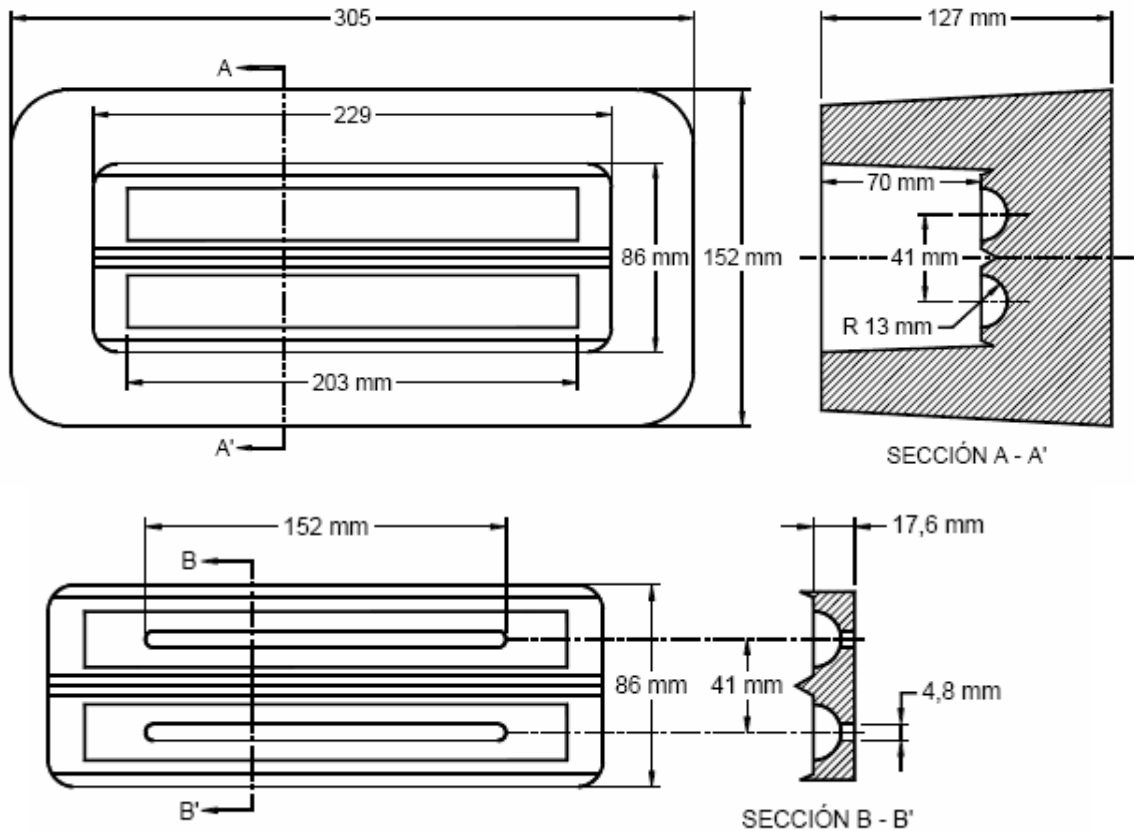
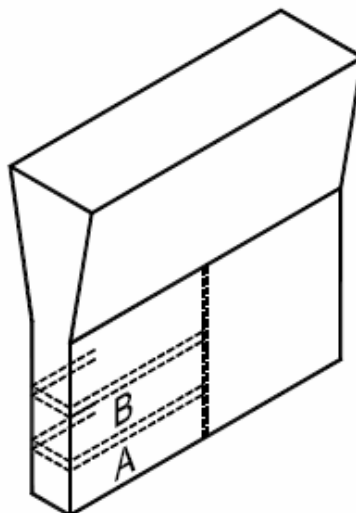


FIGURA 4. Procedimiento de seccionamiento para bloques "Y"

FIGURA 4 a) Bloque de 12.7 mm en forma de "Y". Dos ubicaciones para muestras de ensayo de tensión, con un diámetro de 6.40 mm



(Continúa)

FIGURA 4 b) Bloque de 25.4 mm en forma de “Y”. Dos ubicaciones para muestras de ensayo de tensión, con un diámetro de 12.7 mm.

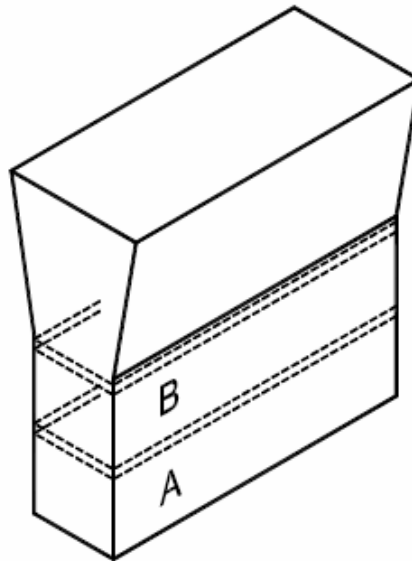
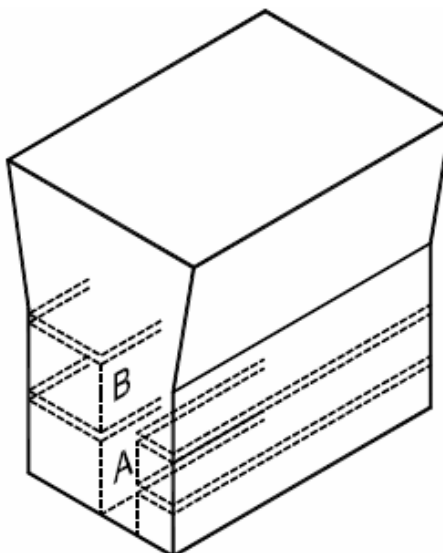


FIGURA 4 c) Bloque de 76.2 mm en forma de “Y”. Dos ubicaciones para muestras de ensayo de tensión, con un diámetro de 12.7 mm



(Continúa)

FIGURA 5

FIGURA 5 a) Muestra normalizada maquinada, para el ensayo de tensión, con una longitud de referencia de 50mm, y

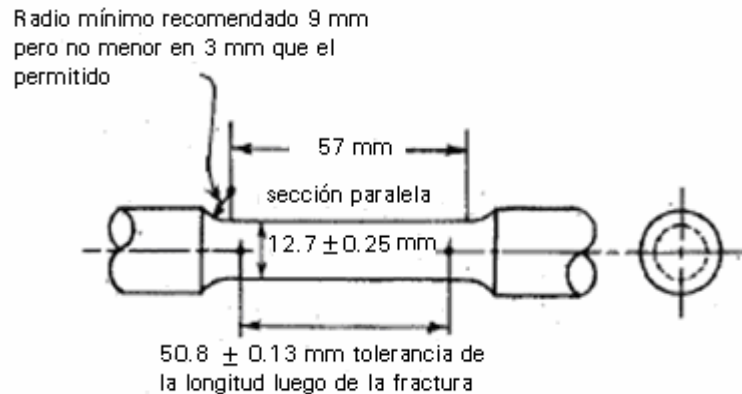
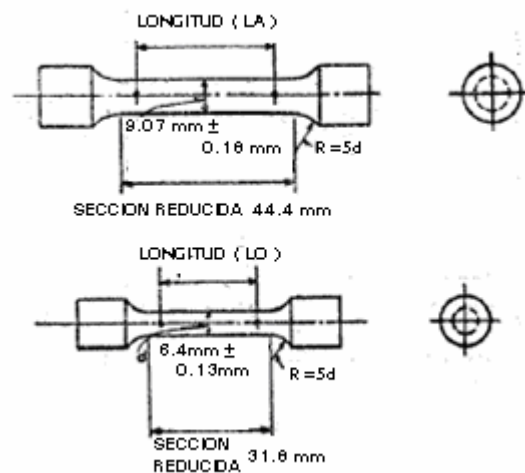


FIGURA 5 b) ejemplos de muestras pequeñas proporcionales a la muestra normalizada (*).



7. REQUERIMIENTOS COMPLEMENTARIOS

7.1 Cuando se especifique en el contrato o en la orden de compra, las piezas de fundición cumplirán con requerimientos especiales tales como dureza, composición química, micro estructura, resistencia a la presión, pruebas radiográficas, inspección por partículas magnéticas y el acabado superficial.

7.2 Acabado

7.2.1 Las piezas fundidas tendrán un buen acabado, libre de defectos peligrosos y estarán en concordancia con las dimensiones del diseño o modelo entregado por el comprador

* La longitud de calibre y los filetes serán como se ilustra pero los extremos podrán ser de cualquier forma como para calzar las mordazas de la máquina de ensayo de tal manera que la carga sea axial. La sección reducida tendrá una conicidad gradual desde los extremos hacia el centro, siendo los extremos (0,08 a 0,13 mm) más largo en diámetro que el centro.

(Continúa)

7.2.2 Las piezas fundidas no deberán presentar esquinas o centros endurecidos en las áreas a ser mecanizadas

7.3 Rotulado

7.3.1 *Identificación de producto.* Cuando el tamaño de las piezas fundidas lo permita, cada una de las piezas debe tener la marca de identificación del fabricante, y el número de parte o modelo y matriz, realizados en alto o bajo relieve, y estará en un lugar indicado en los planos.

7.4 Almacenaje y entrega

7.4.1 *Preparación para la entrega.* A menos que por otra parte se especifique en el contrato u orden de compra, la limpieza, secado, preservación, y empaquetamiento estará de acuerdo con la práctica comercial del fabricante. El empaque y marcado serán de manera adecuada para asegurar la aceptación y la entrega segura de acuerdo al modo de transporte empleado.

7.4.2 Para adquisiciones gubernamentales – Se preferirá la producción nacional que cumpla con esta norma.

8. INSPECCIÓN

8.1 A menos que se especifique de otra manera en el contrato u orden de compra, el fabricante es el responsable de desarrollar todos los ensayos e inspecciones requeridas por esta norma, usando sus propias u otras instalaciones fiables, y mantendrá registros completos de dichos ensayos e inspecciones. Tales registros estarán disponibles para ser revisados por el comprador.

8.2 Se exceptúa cuando se solicita en el contrato, el proveedor puede usar su propio o cualquier medio conveniente para comprobar los requisitos de la inspección especificada en esta norma, a menos que el comprador no este de acuerdo.

8.3 El comprador se reserva el derecho de efectuar cualquiera de las inspecciones expuestas en la norma en el lugar donde estime necesario, para asegurar que los suministros y servicios estén conforme a los requerimientos de esta norma.

9. MUESTREO

9.1 Un lote debe ser definido por uno de los siguientes criterios:

9.1.1 El metal colado de un horno y del mismo proceso de calentamiento.

9.1.2 El metal proveniente de dos o más hornos combinados en una sola cuchara ó destinado a una única pieza.

9.2 Numero de ensayos y re-ensayos.

9.2.1 El ensayo de tracción debe realizarse en concordancia con la NTE INEN 109.

9.2.2 En el caso del bloque Y, la sección se cortará del bloque como se muestra en la figura 4. Si cualquier espécimen de prueba de tensión muestra defectos obvios, puede cortarse otro del mismo bloque de prueba o de otro bloque de prueba que represente al mismo metal.

9.3 Certificación

9.3.1 Llegado a un acuerdo o convenio por escrito entre el comprador y/o usuario y el vendedor, una certificación se hará en base a la aceptación del material. Esto consistirá en una copia del informe de prueba del fabricante y una declaración por el vendedor, acompañado por una copia de los resultados de la prueba en que el material ha sido tomado, probado e inspeccionado de acuerdo con las especificaciones. Cada certificación deberá ser firmada por un agente autorizado del vendedor y fabricante

(Continúa)

ANEXO A

(Información no obligatoria)

A.1 Propiedades mecánicas de las fundiciones

A.1.1 Las propiedades mecánicas de las fundiciones de hierro están influenciadas por la velocidad de enfriamiento durante y después de la solidificación, por la composición química, por tratamientos térmicos, por el diseño y clase del molde, por la localización y eficacia de las entradas y vaciaderos, y por algunos otros factores.

A.1.2 La velocidad de enfriamiento y, por lo tanto, las propiedades que se desarrollan en una sección en particular están influenciadas por la presencia de machos, enfriadores, insertos y retardadores, por cambios en el espesor de la sección, y la presencia de protuberancias, proyecciones, e intersecciones, tales como juntas de nervaduras y protuberancias. Debido a la interacción de estos factores, ninguna relación cuantitativa precisa puede ser establecida entre las propiedades del hierro en varias partes de una misma fundición o entre las propiedades de la fundición y las de una muestra de fundición del mismo hierro. Cuando una relación tal como esa es importante y debe ser conocida para una aplicación específica, pudiera ser más cercana a la verdad, una apropiada experimentación.

A.1.3 Cuando no hay disponibilidad de información confiable sobre la relación entre las propiedades de una fundición y las de una muestra de prueba separada, y donde la experimentación pudiera ser impracticable, el tamaño de la prueba de fundición debe ser seleccionada de modo de aproximar la velocidad de enfriamiento a la de la sección de la fundición que se está controlando.

A.2 Selección del bloque Y

A.2.1 Como una guía general para la selección del Bloque-Y apropiado, los datos de la tabla A.1 basados en velocidades de enfriamiento, muestran, para varios tipos de bloques de prueba, las formas de equivalentes geométricos con varias dimensiones.

TABLA A.1. Geometría equivalente formas correspondientes para bloques Y

Bloque Y tamaño mm	Placa infinito espesor mm	Diámetro mm	Cubo mm
(12,7)	(12,7)	(30,5)	(44,4)
(25,4)	(22,9)	(44,4)	(69,8)
(76,2)	(40,6)	(78,7)	(121,9)

(Continúa)

ANEXO B

Una guía para la composición química de cada tipo de hierro gris, dependiendo de su espesor se puede observar en la tabla B.1.

TABLA B.1. Composición química de los tipos de hierros grises dependiendo de su espesor

Composición (%)	GRADO				
	42-10	45-12	55-06	70-03	90-02
Carbono (C)	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6	2,7 -3,6	2,7 -3,6	> 3,4
Silicio (Si)	1,3 - 2,4	1,3 - 2,4	1,3 -2,4	1,1 -2,2	1,1 -2,2
Manganeso (Mn)	0,2 - 0,4	0,3 - 0,6	0,5 -0,7	0,6 -0,8	0,6 -0,8
Magnesio (Mg)	0,02- 0,08	0,02 - 0,08	0,02-0,08	0,02-0,08	0,02-0,08

NOTA 1. La cantidad permisible de los siguientes elementos son respectivamente P ≤ 0,1%, S ≤ 0,02%

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 109	<i>Ensayo de tracción para materiales metálicos. Primera revisión</i>
Norma ASTM A 370	<i>Métodos de prueba y definiciones para Ensayos mecánicos de productos de aceros.</i>
Norma ASTM A 644	<i>Terminología Relacionada con Piezas Fundidas de Hierro.</i>
Norma ASTM A 732/A 732 M	<i>Especificaciones para Piezas Fundidas, Inversiones, carbono y Aceros de Baja Aleación para Aplicaciones Generales, y Aleaciones de Cobalto para Alta Resistencia a Elevadas temperaturas.</i>
Norma ASTM E 8	<i>Métodos de Ensayos de Tracción para Materiales Metálicos.</i>

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma ASTM A 536-84 M: 2003. *Standard Specification for Ductile Iron Casting.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2003.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 2 499	TÍTULO: FUNDICIÓN NODULAR (HIERRO DÚCTIL). REQUISITOS	Código: MC 06.08-403
-------------------------------------	--	--------------------------------

ORIGINAL:

Fecha de iniciación del estudio:
2008-02-25

REVISIÓN:

Fecha de aprobación anterior del Directorio
Oficialización con el Carácter de
por Resolución No. de
publicado en el Registro Oficial No. de

Fecha de iniciación del estudio:

Fechas de consulta pública: de

a

Subcomité Técnico: **Fundiciones**

Fecha de iniciación: 2008-02-25

Fecha de aprobación: 2008-07-16

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

Ing. Fernando Chávez (Presidente)
Ing. Fausto Oviedo
Ing. Napoleón Flores
Ing. Rómulo Montero
Ing. Fausto Yáñez
Ing. Gustavo Vera
Ing. Patricio Quezada
Ing. William Peña (Pro Secretario Técnico)

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

FUNDIRECICLAR
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.
INTERAGUA
ASTAP
FUNDIEC
JCR FUNDICIONES
E.S.P.E
INEN

Otros trámites:

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2009-03-27

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial No. 596 de 2009-05-22

Por Resolución No. 028-2009 de 2009-05-04

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inencati@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gov.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gov.ec
URL: www.inen.gov.ec**



Designation: E 3 ± 01

Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens¹

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

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

1. Scope

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

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching, ASM, 1978*; and Vander-Voort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 90/A 90M Standard Test Method for Weight (Mass) of Coating on Iron and Steel with Zinc or Zinc-Alloy Coatings
E 7 Terminology Relating to Metallography²
E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel²
E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys²
E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys²
E 768 Practice for Preparing and Evaluating Specimens for Automatic Inclusion Assessment of Steel²

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

Current edition approved April 10, 2001. Published July 2001. Originally published as E 3 ± 21 T. Last previous edition E 3 ± 95.

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

E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens²

E 1122 Practice for Obtaining JK Inclusion Ratings Using Automatic Image Analysis²

E 1245 Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis²

E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures²

E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens²

E 1920 Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings²

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E 7.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.

3.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.

3.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same plane of polish. It is unique to semi or fully automatic preparation equipment that utilize specimen holders.

3.4 *rigid grinding disc*—a non-fabric support surface, such as a composite of metal/ceramic or metal/polymer charged with an abrasive (usually 6 to 15µm diamond particles), and used as the one grinding operation in a metallographic preparation procedure.

4. Significance and Use

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

4.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other

major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

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

5. Selection of Metallographic Specimens

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

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

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

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

3.1 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must be decided.

5.2.1 For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting.

5.2.2 In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product.

5.2.3 In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.

3.2 Transverse sections or cross sections taken perpendicular to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.3.1 Variations in structure from center to surface,

5.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,

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

5.3.4 Depth of surface imperfections, 5.3.5 Depth of corrosion,

5.3.6 Thickness of protective coatings, and 5.3.7 Structure of protective coating.

5.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.4.1 Inclusion content of steel (see Practices E 45, E 768, E 1122, and E 1245),

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

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

5.4.4 The microstructure attained with any heat treatment.

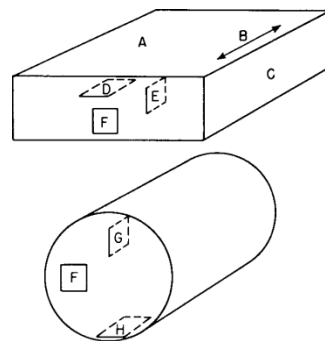
5.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in Fig. 1.

6. Size of Metallographic Specimens

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

6.1.1 Larger specimens are generally more difficult to prepare.

6.1.2 Specimens that are, fragile, oddly shaped or too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Section 9).



Symbol in Diagram

Suggested Designation

- A Rolled surface
- B Direction of rolling
- C Rolled edge
- D Planar section
- E Longitudinal section perpendicular to rolled surface
- F Transverse section
- G Radial longitudinal section
- H Tangential longitudinal section

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

7. Cutting of Metallographic Specimens

7.1 In cutting the metallographic specimen from the main body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

7.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy, fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 350 HV. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

7.1.2 An abrasive cut-off blade will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off blade, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily damage the specimen, producing an alteration of the microstructure. Generally, soft materials are cut with a hard bond blade and hard materials with a soft bond blade. Aluminum oxide abrasive blades are preferred for ferrous metals and silicon carbide blades are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off blades are essential for sectioning metals with hardness above about 350 HV. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting blades. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of blade. Table 1 lists the suggested cutoff blades for materials with various Vickers (HV) hardness values.

7.1.3 A shear is a type of cutting tool with which a material in the form of wire, sheet, plate or rod is cut between two opposing blades.

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

8. Cleanliness

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

8.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before

polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects during etching. The coating can be removed by dissolving in cold nitric acid (HNO₃, sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H₂SO₄) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO₃ method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized. More information may be found in Test Method A 90/A 90M.

NOTE 2 Picral etchant produces little or no galvanic etching effects when used on galvanized steel.

NOTE 3 The addition of an inhibitor during the stripping of Zn from galvanized coatings will minimize the attack of the steel substrate. NEP (polyethylene polyamine) or SbCl₃ are two useful inhibitors.

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

9. Mounting of Specimens

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

Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two.

Mechanical Mounting:

9.3.1 Strip and sheet specimens may be mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts.

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

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

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

9.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a layer of epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

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

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

9.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimen.

9.4 Plastic Mounting:

9.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both

TABLE 1 Cutoff Blade Selection

Hardness HV	Materials	Abrasive	Bond	Bond Hardness
up to 300	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	hard
up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	med. hard
up to 400	soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	hard
up to 500	medium soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	med. hard
up to 600	medium hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	medium
up to 700	hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	med. soft
up to 800	very hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or M	hard
	more brittle ceramics	diamond	P or M	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext. hard

Pϕphenolic Rϕrubber R&Rϕresin and rubber Mϕmetal

manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression and castable.

9.4.2 The choice of a mounting compound will influence the extent of edge rounding observed during the grinding and polishing operations. There are several methods available that minimize rounding. The specimen may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using a castable resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen. The specimen may also be plated before mounting (see Section 10). Many mounting procedures result in sharp edges on the mount corners. The corners should be beveled to remove any plastic mounting flash.

9.4.3 *Compression Mounting*—There are four types of compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory (see Table 2). These plastics require the use of a mounting press providing heat (140-180°C) and force (27-30 MPa). Thermosetting plastics can be ejected hot but the best results are obtained when the cured mount is cooled under pressure. Thermoplastic compounds do not harden until cooled and therefore should not be ejected while hot. Regardless of the resin used, the best results are obtained when (1) the specimen is clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 40°C before ejection from the press. This will ensure minimal shrinkage gap formation.

9.4.4 *Castable Plastics*—Castable mounts are usually prepared at room temperature. Some may require an external heat source or applied pressure in order to cure. These resins consist of two or more components which must be mixed just prior to use. There are four kinds of castable plastics in common use (see Table 3).

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

9.5 *Mounting Porous Specimen:*

9.5.1 Porous or intricate specimens may be vacuum impregnated in order to fill voids, prevent contamination and seepage, and prevent loss of friable or loose components. Impregnation is accomplished by placing the specimen in a mold in a vacuum chamber and then introducing the resin into the mold after the chamber has been evacuated. The introduction of the resin into the mold can be accomplished either by having a funnel or stopcock fitted to the vacuum chamber or by having a basin of the resin present inside the chamber. A low-viscosity resin will produce the best results. The pressure in the chamber must remain above the critical vapor pressure of the hardener to

avoid boiling away the hardener. After the pressure has equilibrated, the resin is introduced into the mold and the vacuum is released and air admitted to the chamber. Atmospheric pressure will force the resin into the fine pores, cracks, and holes.

If a low-viscosity resin is used, the funnel and stop-cock may be eliminated. The specimen and resin are placed in the mold prior to evacuation. The air in the specimen will bubble out through the resin. Exercise care to ensure the hardening agent is not evaporated during evacuation. Dipping the specimen in the resin prior to placing it in the mold may help in filling voids.

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

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

10. **Plating of Specimens**

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

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

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

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

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

10.4 The plating material should not react galvanically with the base metal of the specimen during plating, polishing, or etching.

10.5 Electroless plating is preferred to electrolytic plating

TABLE 2 Characteristics of Hot-Compression Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	thermoplastic, cure time 10-15 min, optically clear, moderate shrinkage, low abrasion resistance, degraded by hot etchants
Diallyl phthalate ^A	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, minimal shrinkage, good resistance to etchants, moderate abrasion resistance
Epoxy ^A	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, very low shrinkage, good resistance to etchants, high abrasion resistance
Phenolic ^A (Bakelite)	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, moderate shrinkage, degraded by hot etchants, moderate abrasion resistance

^A These compounds may be filled with wood flour, glass fiber or mineral particulate.

TABLE 3 Characteristics of Castable Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	Cure time 8-15 min, moderate shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, low abrasion resistance, opaque to transparent
Polyester-acrylic (quartz-filled)	Cure time 8-15 min, very low shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, high abrasion resistance, opaque
Polyester	Cure time 30-60 min, high shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, moderate abrasion resistance, transparent
Epoxy	Cure time 1-2-20 h, very low shrinkage, good adhesion, low heat generation during polymerization, moderate abrasion resistance, low viscosity (good for vacuum impregnation), transparent

for specimens with rough, porous, or irregular surfaces, because the electroless solution provides better surface coverage and penetration. 10.6 Active metals such as zinc and aluminum are difficult to plate. Sometimes a flash cyanide copper plate can be deposited, which then can be followed by normal plating from a sulfate bath. Evaporated coatings of copper, gold, or chromium may also be used as starter coatings.

10.7 It is recommended that the plating thickness be at least 5µm.

11. Grinding and Polishing
General Information

11.1 Many metals and alloys can be prepared using a similar sequence of grinding and polishing. Hard alloys may require greater pressure than soft alloys. The major differences will be in the final polishing. Some metals and alloys will require specific combinations of abrasive and support material, but a surprising number can be handled by the same procedure. Supplies and instructions for grinding, lapping, and polishing are readily obtainable from laboratory supply houses.

11.2 Grinding Grinding can be done in a number of ways, ranging from rubbing the specimen on a stationary piece of abrasive paper to the use of automatic devices. The choice of method depends on the number and type of specimens to be done, financial considerations and requirements such as flatness and uniformity.

11.2.1 Abrasive grit size designations in this practice are expressed in the ANSI (American National Standards Institute) or CAMI (Coated Abrasives Manufacturers Institute) system units with the corresponding FEPA (European Federation of Abrasive Producers) numbers in parentheses. Table 4 provides a correlation between these two systems and the approximate median particle diameter for a given size in micrometres.

11.2.2 Grinding should start with the finest paper, platen or stone capable of flattening the specimen and removing the effects of prior operations, such as sectioning. The subsequent steps should remove the effects of previous ones in a short time. Grinding consists of two stages- planar (rough) and fine.

11.2.3 Planar or rough grinding [240 grit (P220) and coarser] may be performed on belts, rotating wheels or stones. In some methods, diamond abrasives are used on rigid platens. Planar grinding may be used to accomplish the following:

- 11.2.3.1 Flatten an irregular or damaged cut surface, 11.2.3.2 Remove sectioning damage, scale and other surface conditions prior to mounting,
- 11.2.3.3 Remove substantial amounts of specimen material to reach a desired plane for polishing,

TABLE 4 European/USA Grit Grade Comparison Guide

FEPA		ANSI/CAMI	
Grit Number	Size (µm)	Grit Number	Size (µm)
P120	125.0	120	116.0
P150	100.0	180	78.0
P220	68.0	220	66.0
P240	58.5	...	...
P280	52.2	240	51.8
P320	46.2	...	...
P360	40.5	280	42.3
P400	35.0	320	34.3
P500	30.2	...	...
P600	25.8	360	27.3
P800	21.8	400	22.1
P1000	18.3	500	18.2
P1200	15.3	600	14.5
P1500	12.6	800	11.5
P2000	10.3	1000	9.5
P2500	8.4	1500	8.0
P4000 ^A	5.0	...	...

^A Not found in the FEPA grading system.
ANSI American National Standards Institute
CAMI Coated Abrasives Manufacturers Institute
FEPA European Federation of Abrasive Producers

11.2.3.4 Level the mount surface.

11.2.4 In fine grinding, damage to the specimen incurred from the planar or rough grinding step must be removed. The specimen is either ground on successively finer abrasive papers (using water to wash away grinding debris and to act as a coolant) or on a rigid disc or cloth charged with a suitable abrasive.

11.2.5 After all grinding is done, the specimen must be cleaned thoroughly. Ultrasonic cleaning in a water/soap solution containing a corrosion inhibitor may prove beneficial.

11.3 Polishing Polishing is usually distinguished from grinding by the use of loose abrasive (#6µm) embedded in an appropriately lubricated supporting surface. The choice of abrasive, lubricant, and polishing surface support is often specific to the metal and the object of the investigation. Polishing can be divided into rough and fine (final) stages.

7.11.2 Rough polishing is often sufficient for routine evaluations like microindentation hardness and grain size.

7.11.3 When fine polishing is required, it may be performed with diamond or an oxide slurry step or both. The choice of final polishing abrasive type and size is dictated by the hardness of the specimen. For instance, a 1µm diamond final polish is often sufficient for many grades of steel, however, softer steels and non-ferrous materials often require an additional polishing step with an oxide slurry or suspension of SiO₂ or Al₂O₃. Final polishing cloths are generally softer and higher in nap than rough polishing cloths. Therefore, polishing time and force must be kept to a minimum to avoid artifacts such as

edge rounding and relief.

7.11.3.1 Careful cleaning of the specimen between stages is mandatory to prevent contamination by coarser abrasive. Ultrasonic cleaning may be effective.

7.11.3.2 The polishing operations may be conducted by manual or by automated methods (preferred).

Manual (Hand-held) Methods

7.11.4 When grinding manually, the specimen should be moved back and forth across the paper to allow for even wear. Between grinding steps, the specimen should be rotated 45-90°. At the end of grinding on each paper, the surface of the specimen and its mount, if any, should be flat with one set of unidirectional grinding scratches.

7.11.5 Manual polishing methods consist of holding the specimen by hand against an abrasive-charged rotating wheel and moving the specimen in a circular path around the wheel against the direction of rotation of the wheel. The specimen should be held firmly in contact with the wheel.

7.11.6 The amount of force applied along with the rate of movement of the specimen during grinding and polishing is a matter of personal preference and experience. In the preparation of difficult materials such as thermally sprayed coatings or composites, the operating parameters must be strictly controlled.

7.11.7 A traditional manual preparation sequence consists of a series of grinding and polishing steps and may be similar to those listed in Table 5.

Automated Methods

7.12.1 Many styles of automated specimen preparation machinery are available. Most units can perform grinding and polishing steps. Many use holders capable of accommodating multiple specimens. Major advantages of automated grinding and polishing procedures are the consistent quality of specimen preparation and the substantial decrease in time. Therefore, automated techniques are recommended over manual techniques.

7.12.2 Most of the devices for automated grinding and polishing move the specimen around a rotating wheel covered

with abrasive so that the specimen follows an epicycloid path. In some devices, the specimen rotates on its own axis as well. The resulting scratch pattern now consists of randomly oriented arcs. Deciding when the previous scratches have been removed is more difficult than with directional (manual) grinding. The specimen surface should show uniform scratches before proceeding to the next step. Cleaning between stages is required to prevent carryover of abrasives and contamination of subsequent preparation surfaces.

Table 5 illustrates a traditional automated preparation method. This method uses conventional SiC papers for grinding and is suitable for all but the hardest of materials. Tables 6 and 7 are preparation methods that utilize rigid grinding discs or cloths for fine grinding. The method in Table 6 has been shown to be effective for the preparation of materials harder than HRC45. The method in Table 7 may be used for the preparation of materials softer than HRC45. These procedures may produce excellent results outside of the recommended hardness ranges.

12. Special Procedures

12.1 Occasionally, the metallographer is faced with the preparation of unfamiliar specimens or with special situations. Anticipation of every possible situation is, of course, impossible but some guidance can be offered.

12.1.1 When used properly, electrolytic polishing can produce near deformation-free surfaces but works best on solid solution alloys. Once the operating parameters are set, specimens can be prepared quickly. See Guide E 1558.

12.1.2 Vibratory polishing produces excellent results on many materials. Although slow, a number of specimens can be prepared simultaneously. It is especially advantageous for soft materials.

12.2 *Porous Specimens* Specimens with continuous or open pores can be vacuum-impregnated (see 9.5) with epoxy. Specimens with closed pores are mounted by a suitable method, ground through the fine grinding stage, cleaned, and dried thoroughly. The surface is then wiped with epoxy mounting compound, usually the same material used to mount the specimen, to seal the pores. After hardening, the last

TABLE 5 Preparation Method 1 (General Use)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120±320 (P120±400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15±45	20±30 (5±8)	200±300 ^C	CO ^D
Fine Grinding paper	water	240 (P220) grit SiC	15±45	20±30 (5±8)	200±300	CO
paper	water	320 (P500) grit SiC	15±45	20±30 (5±8)	200±300	CO
paper	water	600 (P1200) grit SiC	15±45	20±30 (5±8)	200±300	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	6µm diamond	120±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60±120	10±20 (3±5)	100±150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30±60	10±20 (3±5)	100±150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1 1/4 in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

TABLE 6 Preparation Method 2 for Harder Materials \$ HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120±320 (P120±400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15±45	20±30 (5±8)	200±300 ^C	CO ^D
Fine Grinding rigid disc	compatible lubricant	6±15µm diamond	180±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3±6µm diamond	120±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60±120	10±20 (3±5)	100±150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30±60	10±20 (3±5)	100±150	CONTRA ^F

7.14.1 Force per 30 mm (1 1/4 in.) diameter mount.
 7.14.2 Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.
 7.14.3 High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.
 7.14.4 Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.
 7.14.5 Optional step.
 7.14.6 Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

TABLE 7 Preparation Method 3 for Softer Materials # HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120±320 (P120±400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15±45	20±30 (5±8)	200±300 ^C	CO ^D
Fine Grinding heavy nylon cloth	compatible lubricant	6±15µm diamond	180±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3±6µm diamond	120±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60±120	10±20 (3±5)	100±150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30±60	10±20 (3±5)	100±150	CONTRA ^F

8. Force per 30 mm (1 1/4 in.) diameter mount.
 9. Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.
 10. High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.
 11. Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.
 12. Optional step.
 13. Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

The grinding stage is repeated to remove the excess material, and specimen preparation is continued as usual. The choice of epoxy for impregnation depends on the nature of the specimen. It should be inert toward the specimen.

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

12.4 *Coated Materials:*

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

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

12.4.1.2 The problem of soft coatings can be solved by the use of a suitable backup. A piece of spring steel is useful to hold the backup in place, or the backup may be cemented to the specimen. The cement can act as an insulation to minimize galvanic effects. Caution: some cements will dissolve in epoxy mounting compounds. A particularly suitable backup is another piece of the same material, with the coating sandwiched in. Another solution is to add another coating, for example,

electroplate. However, this may introduce undesirable galvanic effects during etching. Galvanic problems may arise also from the interaction of the coating and its substrate. The mounting procedure used must result in excellent adhesion to the coated surface to minimize edge rounding. If edge rounding persists, the polishing time and applied force may have to be decreased.

12.4.1.3 Hard coatings on softer substrates can be mounted with a backup piece or a hard-@lled mounting compound. Diamond abrasives on a napless cloth will minimize surface relief during polishing.

12.5 Fragile specimens should be mounted in one of the castable mounting formulations. Vacuum impregnation will ensure @lling of holes and cavities (see 9.5). Thin walls can be reinforced by electroless nickel plating, which will alleviate the rounding problem.

12.6 Likewise, friable specimens can be bound together by impregnation with plastic or by electroless nickel plating, or both. Further guidance can be found in texts on preparation of mineralogical specimens.

13. Precision and Bias

13.1 Because use of this practice does not produce numerical results, no statement of precision or bias is possible.

14. Keywords

14.1 alloys; grinding; metallography; metals; mounting; polishing; sectioning; specimen preparation (metallographic)

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. CLEANING SPECIMENS

X1.1 Metallographers frequently need to clean specimens. In some instances, the adherent debris, oxidation, or corrosion product must be collected for analysis, for example, by X-ray diffraction. In other cases, the adherent matter is of no interest, it merely needs to be removed. If the underlying surface is of no interest, the surface can be shot blasted, wire brushed, or ground. However, if the underlying surface is important, for example, a fracture surface, then the cleaning operation must do as little damage as possible. These different aims of the cleaning operation must be kept in mind before formulating the cleaning program.

X1.2 When the adherent material is to be analyzed, a variety of procedures may be applied depending upon whether or not the underlying surface can or cannot be damaged.

X1.2.1 In the case of debris or corrosion product on the surface of a part, a stylus, scalpel, or other sharp object can be used to scrape off or pry off enough material for analysis. This will do some damage to the surface, but it will be localized.

X1.2.2 As an alternative, use cellulose acetate replicating tape to remove surface debris by the extraction replica approach. A number of approaches have been developed and are described in STP 547³ as well as in many textbooks on electron microscopy. Generally, thick (0.127 mm or 0.005 in.) tape is employed. One surface is moistened with acetone and then pressed against the debris-coated surface. After it dries, strip off the tape in the same way as you would remove adhesive tape. The debris will adhere to the tape.

X1.3 When the surface is to be examined, but the adherent debris will not be analyzed, several approaches can be used. Always try the simplest, safest methods @rst. For example, use

a blast of compressed air to remove any loosely adherent material. A soft camel-hair brush or a soft toothbrush may also be useful for removing loosely adherent matter.

X1.3.1 If the techniques in X1.3 do not suffice, try aqueous solutions, organic solvents, or alcohol with an ultrasonic cleaner. Aqueous solutions (8 g of Alconox per litre of warm water) containing Alconox⁴, a detergent, have been found (1, 2) to be effective. Follow the Alconox bath with rinsing under running water, then dry. Organic solvents, such as acetone, ethyl methyl ketone, toluene, xylene, or alcohol (ethanol is preferable to methanol because of potential health problems with the latter) are also very effective. Before choosing one of these solutions, be sure that it will not adversely affect the material being cleaned. Avoid use of chlorinated organic solvents (such as trichlorethylene or carbon tetrachloride) due to their carcinogenic nature. Repeated replication, as described in X1.2.2, is an effective method for cleaning fractures (3, 4).

X1.3.2 When the procedures in X1.3 and X1.3.1 are unsuccessful, more drastic methods are required. Electrolytic cleaning solutions (Table X1.1), have been found to be quite useful. An inert material (stainless steel, graphite, or platinum, for example) is used as an anode, while the specimen is the cathode in the electrolytic cell. Some of these solutions can generate dangerous fumes, hence they should be used under a hood with care. Endox 214⁵ has been found (1) to be useful for cleaning heavily rusted steel fractures.

X1.3.3 Cathodic cleaning solutions or acid-inhibited baths have also been employed to clean fractures (3, 5). However, as the degree of corrosion or oxidation increases, fracture features will be destroyed to a greater extent and cleaning, while it can

³ Manual Electron Metallography Techniques, © 1973. Available from ASTM Headquarters. Request STP 547.

⁴ Alconox is available from Alconox, Inc., New York, NY 10003. An equivalent can be used.

⁵ Endox 214 is available from Enthone, Inc., West Haven, CT 06516. An equivalent can be used.

TABLE X1.1 Cleaning Solutions for Use When Standard Methods Are Inadequate

6N HCl plus 2 g/L Hexamethylene tetramine ^A	Immerse specimen in solution for 1 to 15 min. Good for steels. Cleaning action can be enhanced by light brushing or by brief (5 s) periods in an ultrasonic cleaner.
3 mL HCl 4 mL 2-Butyne-1, 4 diol inhibitor 50 mL water ^B	Use a fresh solution at room temperature. Use in an ultrasonic cleaner for about 30 s.
49 mL water 49 mL HCl 2 mL Rodine-50 inhibitor ^C	Wash specimen in alcohol for 2 min in an ultrasonic cleaner before and after a 2-min ultrasonic cleaning period with the inhibited acid bath.
6 g sodium cyanide 6 g sodium sulphite 100 mL distilled water ^{DEF}	Electrolytic rust removal solution. Use under a hood with care. Use 100-mA/cm ² current density for up to 15 min.
10 g ammonium citrate 100 mL distilled water ^G	Use solution heated to 30°C (86°F).
70 mL orthophosphoric acid 32 g chromic acid 130 mL water ^H	Recommended for removing oxides from aluminum alloy fractures (some sources claim that only organic solvents should be used).
8 oz endox 214 powder 1000 mL cold water (add small amount of Photo-Flo) ^{I,J}	Use electrolytically at 250-mA/cm ² current density for 1 min with a Pt cathode to remove oxidation products. Wash in an ultrasonic cleaner with the solution for 1 min. Repeat this cycle several times if necessary. Use under a hood.

^A deLeiris, H., et al, ^aTechniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts that are to be Examined by Electron Microfractography, ^oMem. Sci. Rev. Met., Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463±472.
^B Dahlberg, E. P., ^aTechniques for Cleaning Service Failures in Preparation for Scanning Electron Microscope and Microprobe Analysis, ^oScanning Electron Microscopy, 1974, Part IV, pp. 911±918.
^C Brooks, C. E., and Lundin, C. D., ^aRust Removal from Steel Fractures Effect on Fractographic Evaluation, ^oMicrostructural Science, Vol 3A, Elsevier, NY, 1975, pp. 21±33.
^D deLeiris, H., et al, ^aTechniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts That Are to be Estimated by Electron Microfractography, ^oMem. Sci. Rev. Met., Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463±472.
^E Russ, J. C., and Miller, G. A., ^aEffect of Oxidization on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel, ^oJISI, December 1969, pp. 1635±1638.
^F Pickwick, K. M., and Smith, E., ^aThe Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations, ^oMicron, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224±237.
^G Interrante, C. G., and Hicho, G. E., ^aRemoval of Iron-Sulphide Deposits from Fracture Surfaces, ^oASTM STP 610, 1976, pp. 349±365.
^H Beachem, C. D., ^aThe Interpretation of Electron Microscope Fractographs, NRL Report 6360, U.S. Government Printing Office, Jan. 21, 1966.
^I Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., ^aAn Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials, ^oPrakt. Met., Vol 15, April 1978, pp. 184±195.
^J Goubau, B., and Werner, H., ^aMicrofractographic Investigation of Fracture Surfaces Coated With Magnetite, ^oPrakt. Met., Vol 17, No. 5, May 1980, pp. 209±219.

remove the surface deposits, cannot restore damaged fracture features.

X1.3.4 A number of proprietary rust removal solutions have been developed. These are premixed and used directly out of the container. Two such products are described in Refs 6 and 7.

X1.3.5 Cleaning can also be accomplished by argon-ion

bombardment (6) or by use of a glow-discharge method (7, 8). These methods require specialized equipment.

X2. APPLIED LOAD CONVERSIONS

X2.1 Automated preparation machines commonly display force in either pound-force (lbf) or newtons (N). The ability to convert from one unit to the other may be necessary when trying to interpret a documented procedure.

X2.1.1 To convert from pound-force to newton multiply the pound-force value by 4.5.

X2.1.2 To convert from newton to pound-force multiply the newton value by 0.225.

X2.2 When multiple specimens of equal contact area are held in a holder, the applied force must be divided by the number of specimens in the holder to determine the load per specimen.

X2.2.1 Some automated machines apply force individually to each specimen. In this case it is necessary to divide the force by the contact area to determine the load per specimen.

X2.3 Caution should be taken when using automated machines that display pressure in pound-force per square inch (psi). Typically, the machine is displaying the air pressure within the loading cylinder and not the actual pressure applied to either the specimen holder or individual specimen.

X2.4 When converting from a force to a pressure, the surface area of the specimen(s) must be determined. The value of force is then divided by the contact area to determine the required pressure.

X3. PROCEDURE IMPROVEMENT

X3.1 To improve the preparation of a particular material, try one of the preparation methods described in Table 5, Table 6, or Table 7. Following are general guidelines that may help improve results.

X3.2 If a material is being prepared for the first time, the surface should be microscopically examined after every step.

X3.3 Before proceeding to the next step, be sure that all deformation and artifacts from the previous step, such as scratches, pull-outs or embedded grains, are completely removed. It is difficult to identify when an artifact was introduced if the specimen is not examined prior to the final step. You must know when the artifact was introduced in order to improve the method.

X3.4 Keep the preparation times as short as possible. Excessive preparation wastes consumables and may introduce artifacts such as relief and edge rounding.

X3.5 New consumables such as polishing cloths or diamond grinding products may need to be "broken in" for a short period prior to use.

X3.6 The following section lists common preparation artifacts and prevention measures.

X3.7 *Scratches*—Scratches are grooves in the surface of the specimen produced by the points of abrasive particles.

X3.7.1 Make sure that after planar grinding the surface of all of the specimens in the holder exhibit the same uniform scratch pattern over the entire specimen. Repeat the planar grinding step if necessary.

X3.7.2 Clean the specimens and holder carefully after each step to avoid contamination.

X3.7.3 If there are still scratches left over from the previous step after finishing the current step, increase the preparation time by 25 to 50 %. If this does not work then you should consider altering the method by inserting an intermediate step.

X3.8 *Deformation*—Deformation can be classified by two types, elastic and plastic. Elastic deformation disappears when the applied load is removed. Plastic deformation, often called cold work, can be induced during sectioning, mounting, grinding, lapping or polishing. Residual plastic deformation can first be seen after etching. Only deformation that was introduced during metallographic preparation can be eliminated with procedure modification. Deformation from manufacturing operations such as bending, drawing and stretching are not considered because they cannot be removed by altering the preparation method.

X3.8.1 If the deformation is visible in brightfield in the unetched condition, please see X3.7.3 Scratches, for tips on how to improve the preparation.

X3.8.2 If after etching, the deformation is restricted to single or a few grains then it is minimal and may be removed by repeating the previous step.

X3.8.3 If after etching, the deformation is well defined covering several grains or even the whole specimen, then it may have been recently introduced. Check and clean the polishing cloth for possible contamination. Replace the cloth if results do not improve (see section X.2.1.4). Repeat the previous step.

X3.8.4 If after etching, the deformation is in the form of long, blunt lines covering several grains (with possible interruptions) then it may have been introduced from an earlier stage. Repeat the procedure starting from the fine grinding stage.

X3.9 *Smearing*—Smearing is the flow of material at the surface of the specimen. It is the result of material being "pushed" across the surface instead of being cut.

X3.9.1 Check the amount of lubricant. Smearing most often occurs when lubrication levels are too low. Increase or change the lubricant to eliminate smearing.

X3.9.2 Check the applied load. Excessive loads can result in smearing. Reduce the load to eliminate smearing.

X3.9.3 Check the abrasive size. Abrasives grains that are too small may not be effective in material removal. Increase the abrasive grain size.

X3.10 *Edge Rounding*—Edge rounding results when the edge of the specimen abrades at a greater rate than the body of the specimen.

X3.10.1 Mount the specimen. Unmounted specimens always exhibit greater edge rounding than mounted specimens.

X3.10.2 Use the correct mounting compound. There should be minimal shrinkage of the mounting compound away from the specimen. Try to match the abrasion resistance of the mounting compound closely to that of the specimen. See Section 9.

X3.10.3 If the edge rounding first occurred during grinding, consider changing the grinding substrate to a less resilient form. Also consider changing the abrasive type. Diamond abrasive is often more effective than SiC at cutting hard materials.

X3.10.4 Reduce polishing times as much as possible. Long polishing procedures often result in excessive edge rounding.

X3.10.5 Reduce applied load. Normally lower loads result in less edge rounding.

X3.10.6 Change the polishing lubricant. Oil or water/oil type lubricants may help preserve edges.

X3.10.7 Change the polishing cloth. Less resilient cloths produce better edges.

X3.10.8 If the preceding steps are ineffective then consider plating the specimen. See Section 10.

X3.11 *Relief*—Relief results when material from different phases is removed at different rates due to varying hardness or wear rate of individual phases.

X3.11.1 Relief normally first occurs during polishing. However, if there are extreme differences in the hardness between phases it may occur during grinding. If this is the case then an

alternative grinding method should be considered. See Tables 5 and 6.

X3.11.2 Polishing time should be kept to a minimum.

X3.11.3 Polishing cloths that have less resiliency produce less relief (see Edge Rounding in X3.10).

X3.11.4 The polishing abrasive should be at least 2.5 times harder (on the Vickers scale) than the hardest phase being polished.

X3.12 *Pull-outs* DPullouts are the cavities left in the surface after grains or particles are torn out during preparation.

X3.12.1 Avoid high loads during grinding and polishing.

X3.12.2 Do not use coarse abrasives for Planar or Fine grinding steps.

X3.12.3 Do not make large abrasive size jumps between preparation steps. Insert an intermediate step if necessary.

X3.12.4 Napless polishing cloths produce less pull-out than napped cloths.

X3.12.5 Every step has to remove the damage from the previous step, and has to introduce as little damage as possible.

X3.12.6 Check the specimen after every step in order to find out when the pull-out occurs.

X3.13 *Gaps* DGaps are the voids between the mounting compound and the specimen. Gaps can result in a variety of preparation artifacts such as edge rounding, contamination and staining.

X3.13.1 Clean and dry the specimen thoroughly prior to mounting.

X3.13.2 Select a mounting compound with low shrinkage (see Section 9).

X3.13.3 For hot compression mounting, cool the specimen under pressure.

X3.13.4 For castable mounting compounds, avoid high curing temperatures. It may be necessary to cool the specimen during the curing.

X3.13.5 Specimen height should be kept as low as practical to minimize gaps when using hot compression mounting.

X3.14 *Contamination* DContamination is material from a source other than the specimen itself which is deposited on the specimen surface during grinding or polishing.

X3.14.1 Thoroughly clean the specimen between preparation steps (see 11.2.5, 11.3.3).

X3.14.2 Store grinding and polishing discs in a clean, dust-free environment.

X3.14.3 Change grinding or polishing substrate/abrasive if necessary.

X3.15 *Embedded Abrasive* DEmbedded abrasive results when loose grinding, lapping, or polishing abrasive sticks into the surface of the specimen.

X3.15.1 Embedded abrasive is most common with soft non-ferrous materials.

X3.15.2 Change to a more resilient grinding substrate.

X3.15.3 Use a block of paraffin or candle to "pick up" loose SiC particles on fine grit papers. This is done by lightly passing the paraffin block across the paper.

X3.15.4 Change to a more resilient polishing substrate when using diamond abrasives that are less than 3µm in diameter.

X3.15.5 Change to an oil or water/oil-based polishing lubricant.

X3.16 *Lapping Tracks* DLapping tracks are indentations on the specimen surface made by abrasive particles moving freely (rolling) on a hard surface. Lapping tracks can be produced during both grinding and polishing.

X3.16.1 Change to a more resilient grinding or polishing substrate.

X3.16.2 Increase the applied load in 10 % increments until the lapping tracks disappear.

X3.16.3 Employ optimal dynamics.

REFERENCES

- (1) Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., "An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials," *Practical Metallography*, Vol 15, April 1978, pp. 184±195.
- (2) Zipp, R. D., "Preservation and Cleaning of Fracture for Fractography," *Scanning Electron Microscopy*, Part I, 1979, pp. 355±362.
- (3) Russ, J. C., and Miller, G. A., "Effect of Oxidation on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel," *Journal, Iron and Steel Institute*, Vol 207, December 1969, pp. 1635±1638.
- (4) Pickwick, K. M., and Smith, E., "The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations," *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224±237.
- (5) Lane, G. S., and Ellis, J., "The Examination of Corroded Fracture Surfaces in the Scanning Electron Microscope," *Corrosion Science*, Vol 11, September 1971, pp. 661±663.
- (6) Macmillan, J. W., and Flewitt, P. E. J., "Assessment of Methods for Cleaning Oxide from Fracture Surfaces for Examination in a Scanning Electron Microscope," *Micron*, Vol 6, No. 3/4, 1975, pp. 141±146.
- (7) ASTM Task Group E24.02, "Clean Surfaces for Fractography," ASTM STP 600, ASTM, Philadelphia, PA, 1976, pp. 251±253.
- (8) Hajicek, D. J., et al, "Development of a Cleaning Method for SEM Fractographic Analysis of Impulsively Loaded Cylinders," *Microstructural Science*, Vol 5, Elsevier, NY, 1977, pp. 413±421.

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 5 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).



Designation: E 8 ± 04

An American National Standard
 American Association of State
 Highway and Transportation Officials Standard
 AASHTO No.: T68

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹

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 (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

2. 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 1DA 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 2DGage 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 3DExceptions 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 4DRoom temperature shall be considered to be 50 to 100°F unless otherwise specified.

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

3. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

³ 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.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at 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
- A 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

6. 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 interest. 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, $E_{L_{us}}$ [%]*—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 1/2-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 ^aG-Gage Length^o 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:

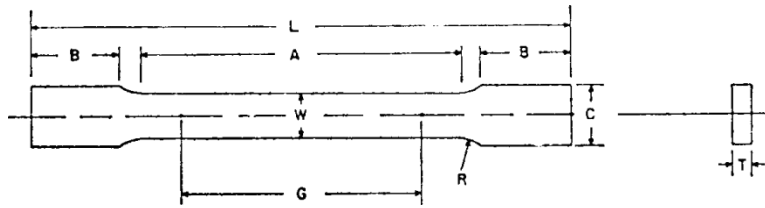
6.1.1 *Specimen Size*—Test specimens shall be either substantially full size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

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 1/2 in. or less in thickness, diameter, or distance between flats.



E 8 ± 04



Dimensions

	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 1 ¹ / ₂ -in. Wide in.	Sheet-Type, 1 ¹ / ₂ -in. Wide in.	1 ¹ / ₄ -in. Wide in.
G Gage length (Note 1 and Note 2)	8.00 6 0.01	2.0006 0.005	1.000 6 0.003
W Width (Note 3 and Note 4)	1 ¹ / ₂ + 1 ¹ / ₈ , - 1 ¹ / ₄	0.5006 0.010	0.250 6 0.005
T Thickness (Note 5)		thickness of material	
R Radius of fillet, min (Note 6)	1	1 ¹ / ₂	1 ¹ / ₄
L Over-all length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	18	8	4
A Length of reduced section, min	9	2 1 ¹ / ₄	1 1 ¹ / ₄
B Length of grip section, (Note 8)	3	2	1 1 ¹ / ₄
C Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	2	3 ³ / ₄	3 ³ / ₈

NOTE 1D For the 1¹/₂-in. wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the \bar{a} at 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 2D When elongation measurements of 1¹/₂-in. wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 2 1¹/₄ in. may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

NOTE 3D 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 4D 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 5D The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 1¹/₂-in. wide specimens shall be 3³/₁₆ in. Maximum thickness of 1¹/₂-in. and 1¹/₄-in. wide specimens shall be 3³/₄ in. and 1¹/₄ in., respectively.

NOTE 6D For the 1¹/₂-in. wide specimen, a 1¹/₂-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 7D 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 8D To aid in obtaining axial force application during testing of 1¹/₄-in. wide specimens, the over-all length should be as large as the material will permit, up to 8.00 in.

NOTE 9D 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 1¹/₂-in. wide specimens is over 3³/₈ in., longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10D 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 1¹/₂-in. wide specimen shall be symmetrical within 0.01 in.

NOTE 11D 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 12D 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 1¹/₂ 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.

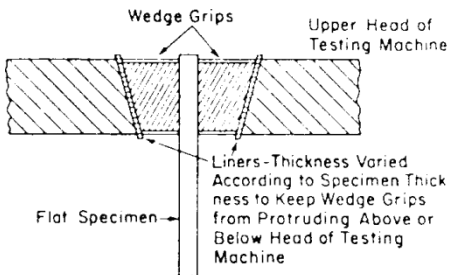


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

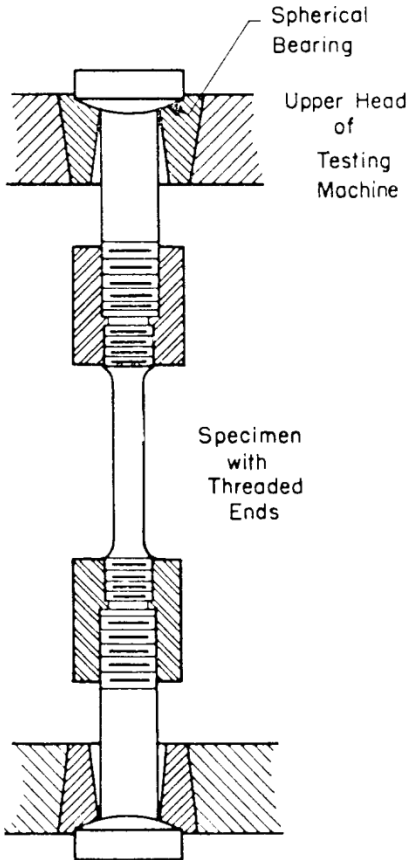


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

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.

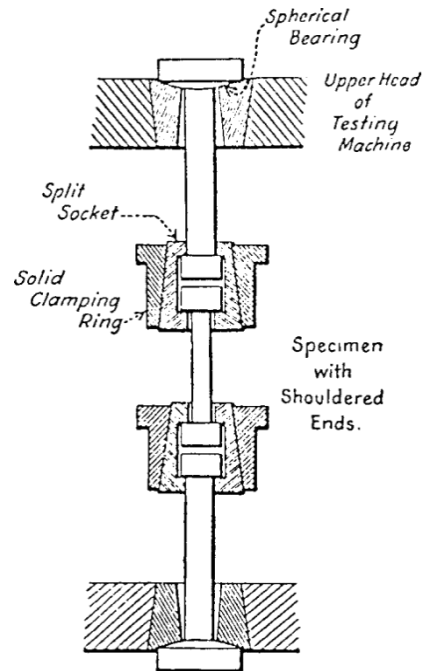


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

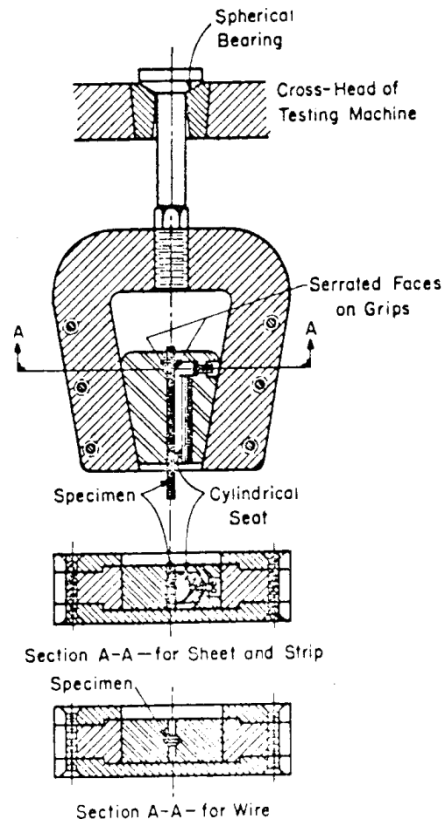


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

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

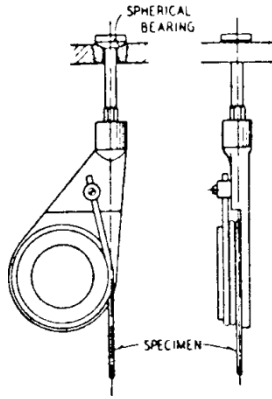


FIG. 6 Snubbing Device for Testing Wire

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.

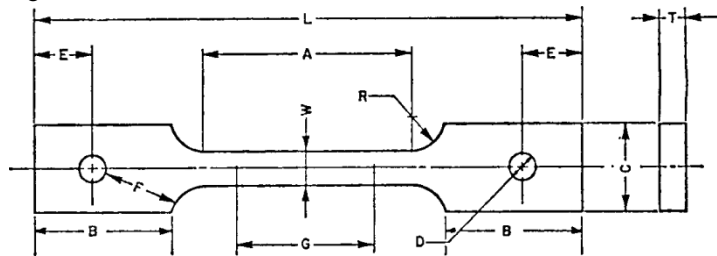
6.4 *Round Specimens*:

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	$2\frac{1}{4}$
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.

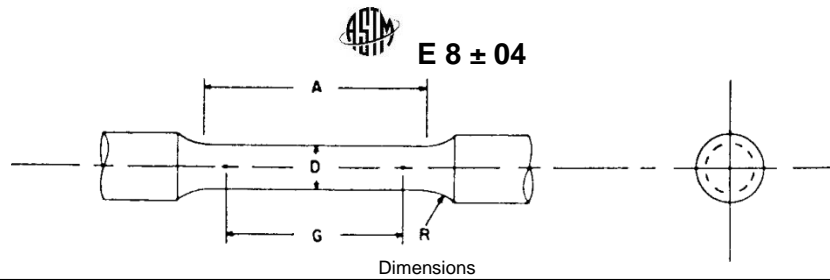
NOTE 2 The dimension *T* is the thickness of the test specimen as stated in the applicable product specifications.

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



	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
Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005	0.640 ± 0.005	0.450 ± 0.005
Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
Radius of fillet, min	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{3}{32}$
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 1D 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 2D 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 3D 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 4D 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 5D 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 6D Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross-sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.², respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these five diameters do not result in correspondingly convenient cross-sectional areas and multiplying factors.)

FIG. 8 Standard 0.500-in. Round Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

6.5.1 For material with a nominal thickness of 0.0005-0.1875 in., use the sheet-type specimen described in 6.3.

6.5.2 For material with a nominal thickness of 0.1875-0.500 in., use either the sheet-type specimen of 6.3 or the plate-type specimen of 6.2.

6.5.3 For material with a nominal thickness of 0.500±0.750 in., use either the sheet-type specimen of 6.3, the plate-type specimen of 6.2, or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4 For material with a nominal thickness of 0.750 in., or greater, use the plate-type specimen of paragraph 6.2 or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4.1 If the product specifications permit, material of a thickness of 0.750 in., or greater may be tested using a modified sheet-type specimen conforming to the configuration shown by Fig. 2. The thickness of this modified specimen must be machined to 0.400 +/- 0.020 in., and must be uniform within 0.004 in. throughout the reduced section. In the event of disagreement, a round specimen shall be used as the referee specimen.

6.6 Specimens for Wire, Rod, and Bar:

6.6.1 For round wire, rod, and bar, test specimens having the full cross-sectional area of the wire, rod, or bar shall be used wherever practicable. The gage length for the measurement of elongation of wire less than 1/8 in. in diameter shall be as

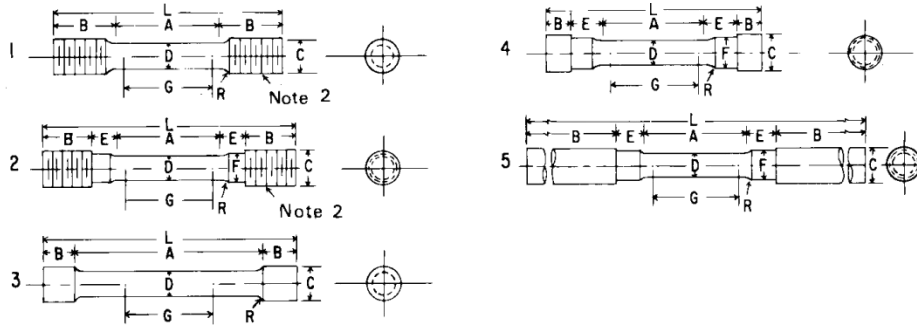
prescribed in product specifications. In testing wire, rod, or bar that has a 1/8-in. or larger diameter, unless otherwise specified, a gage length equal to four times the diameter shall be used. The total length of the specimens shall be at least equal to the gage length plus the length of material required for the full use of the grips employed.

6.6.2 For wire of octagonal, hexagonal, or square cross section, for rod or bar of round cross section where the specimen required in 6.6.1 is not practicable, and for rod or bar of octagonal, hexagonal, or square cross section, one of the following types of specimens shall be used:

6.6.2.1 Full Cross Section (Note 10) It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gage marks. For material not exceeding 0.188 in. in diameter or distance between flats, the cross-sectional area may be reduced to not less than 90 % of the original area without changing the shape of the cross section. For material over 0.188 in. in diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.010 in. without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 0.188 in. between flats may be turned to a round having a cross-sectional area not smaller than 90 % of the area of the maximum inscribed circle. Fillets, preferably with a radius of 3/8 in., but



E 8 ± 04



	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.	in.	in.	in.	in.
G Gage length	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005
D Diameter (Note 1)	0.500 6 0.010	0.500 6 0.010	0.5006 0.010	0.5006 0.010	0.5006 0.010
R Radius of @let, 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 ³ ∅ ₄ , approximately	1 ¹ ∅ ₂ , approximately	3, min
C Diameter of end section	³ ∅ ₄	³ ∅ ₄	³ ∅ ₃₂	¹ ∅ ₈	³ ∅ ₄
E Length of shoulder and @let section, approximate	...	^b ∅ ₈	...	³ ∅ ₄	^b ∅ ₈
F Diameter of shoulder	...	⁵ ∅ ₈	...	⁵ ∅ ₈	¹⁹ ∅ ₃₂

NOTE 1D 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 2D 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 3D 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.

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.

NOTE 10D 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.

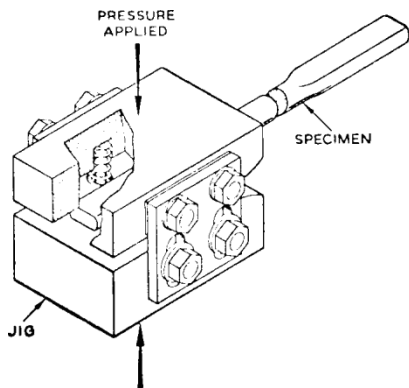


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens



ANEXO D

Designation: E 10 ± 01

American Association State Highway and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: T70±86

Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 10; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

^{e1} NOTE: Section 8.4.1 was editorially updated in June 2004.

1. Scope*

1.1 This test method (Test Method A) covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials, including methods for the verification of Brinell hardness testing machines (Test Method B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Test Method C).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

NOTE 1: In common terminology, the equivalent force in kgf is substituted for N.

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

4. Referenced Documents

4.1 ASTM Standards:

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines²

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications³

E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines²

E 140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness²

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *Brinell hardness number*—A number, which is proportional to the quotient obtained by dividing the test force by the

curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

$$HBW \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{~See Table 1!} \quad (1)$$

where:

D = diameter of the ball, mm,

F = test force, N, and

d = mean diameter of the indentation, mm.

The Brinell hardness is denoted by the symbol: HBW.

3.2 *Discussion*—In former standards, a steel ball was allowed for hardness values below 450. In cases when a steel ball was used, the Brinell hardness was denoted by HB or HBS.

3.3 *Discussion*—The symbol HBW is preceded by the hardness value. When conditions other than those specified in 3.1.5 are used, the hardness value is supplemented by an index indicating the test conditions in the order:

(1) Diameter of the ball, in mm,

(2) A value representing the test force in kgf (see Table 3), and,

(3) Duration of loading, in s.

Examples:

350 HBW 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a ball of 5-mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 to 15 s.

600 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 600 determined with a ball of 1-mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s.

Discussion—Brinell hardness numbers vary with the test force used; however, test results will generally be in agreement when the ratio of the test force to the square of the ball diameter is held constant (see Table 3).

Discussion—Table 2 lists the Brinell hardness numbers corresponding to various diameters of indentations for 29.4 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), and 4.90 kN (500 kgf) test forces making it unnecessary to calculate for each test the value of the Brinell hardness number by the above equation in Table 1 when these forces are used with a 10-mm diameter ball.

3.1.2 *Brinell hardness test*—An indenter (tungsten carbide ball with diameter *D*) is forced into the surface of a test piece and the diameter of the indentation *d* left in the surface after removal of the test force, *F*, is measured. (see Table 1 and Figs. 1 and 2.)

⁵ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved February 10, 2001. Published April 2001. Originally published as E 10 ± 24 T. Last previous edition E 10 ± 00a.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁷ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

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



TABLE 1 Symbols and Designations

NOTE 1	Constant	5	$\frac{1}{g_H}$	1	5	9.806 65	5	0.102
Symbol	Designation							
<i>D</i>	Diameter of the ball, mm							
<i>F</i>	Test force, N							
<i>d</i>	Mean diameter of the indentation, mm							
<i>h</i>	Depth of the indentation, mm							
HBW	5	$\frac{D^2 - D^2 d^2}{2}$	Brinell hardness					
			Test force					
	5	Constant	3	$\frac{\text{Surface area of indentation}}{2F}$				
	5	0.102	3	$pD - D^2 = \frac{D^2 - d^2}{4}$				

and tolerances indicated in Table 4 may be used also provided the precautions set forth in 8.1 are observed.

5.2.2 The tungsten carbide ball indenter shall have a minimum hardness of 1500 HV10.

NOTE 2 **Caution:** The Brinell test is not recommended for material having hardness over 650 HBW (see 8.1).

5.2.2.1 The chemical composition of tungsten carbide balls shall be:

Tungsten Carbide (WC)	Balance
Cobalt (Co)	5.0 to 7.0 %
Total other Carbides	2.0 % max

5.2.2.2 The use of hardened steel ball indenters has been eliminated from this test method. Only tungsten carbide balls may now be used for this test method.

5.2.3 If a ball is used to test a specimen which shows a Brinell hardness greater than 650, the result should be considered suspect and the ball inspected for damage. If there is any evidence of damage, the ball shall be replaced.

5.3 **Measuring Device**—The divisions of the micrometer scale of the microscope or other measuring devices used for the measurement of the diameter of the indentations shall be such as to permit the direct measuring of the diameter to 0.1 mm and the estimation of the diameter to 0.05 mm.

NOTE 3—This requirement applies to the construction of the device only and is not a requirement for measurement of the indentation.

6. Test Specimen

6.1 There is no standard shape or size for a Brinell test specimen. The specimen upon which the indentation is made shall conform to the following:

7.1 **Thickness**—The thickness of the specimen tested shall be such that no bulge or other marking showing the effect of the test force appears on the side of the piece opposite the indentation. As a general rule, the thickness of the specimen shall be at least ten times the depth of the indentation (Table 5).

7.2 The minimum width shall conform with the requirements of 8.3.

7.3 **Finish**—When necessary, the surface on which the indentation is to be made shall be $\text{\textcircled{a}}$ led, ground, machined or polished with abrasive material so that the edge of the indentation shall be clearly defined to permit the measurement of the diameter to the specified accuracy (see 9.1). Care should be taken to avoid overheating or cold working the surface.

2 Verification of Testing Machine

2 **Verification Methods**—The hardness testing machine shall be verified in accordance with one of the two acceptable methods of verifying Brinell hardness testing machines as given in Test Method B.

3 **Test Force Range**—When direct verification is used, the Brinell hardness testing machine is acceptable for use over a test force range within which the error in test force does not exceed 61 %. When indirect verification is used, the Brinell hardness machine is acceptable for use over a test force range within which the mean hardness value obtained is within 63 % of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

3.1.2.1 **Discussion**—The tungsten carbide ball may be used for materials with a Brinell hardness not exceeding 650.

3.1.3 **calibration**—Adjustment of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.4 **verification**—Checking or testing to assure conformance with the specification.

4. Significance and Use

4.1 The Brinell hardness test is an empirical indentation hardness test. Brinell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, or other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials. Brinell hardness testing at the specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product. Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and they have been used extensively in industry for this purpose.

TEST METHOD A—GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR BRINELL HARDNESS TESTS

6.1.3.5 Apparatus

Testing Machine—Equipment for Brinell hardness testing usually consists of a testing machine which supports the test specimen and applies an indenting force to a ball in contact with the specimen. The design of the testing machines shall be such that no rocking or lateral movement of the indenter or specimen occurs while the force is being applied. The design of the testing machine shall ensure that the force to the indenter shall be applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system over-shoot, etc. See equipment manufacturer's instruction manual for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedure.

Brinell Balls:

5.2.1 The standard ball for Brinell hardness testing shall be 10.000 mm in diameter with a deviation from this value of not more than 0.005 mm in any diameter. The ball shall be polished and free of surface defects. Smaller balls having the diameters



E 10 ± 01^{e1}

TABLE 2 Brinell Hardness Numbers^A
(Ball 10 mm in Diameter, Applied Forces of 500, 1500, and 3000 kgf)

NOTE 1—The values given in this table for Brinell hardness numbers are merely solutions of the equation given in the definition in 3.1.1, and include values for indentation diameters outside the ranges recommended in 8.1. These values are indicated by italics.

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force
2.00	158	473	945	2.60	92.6	278	555	3.20	60.5	182	363	3.80	42.4	127	255
2.01	156	468	936	2.61	91.8	276	551	3.21	60.1	180	361	3.81	42.2	127	253
2.02	154	463	926	2.62	91.1	273	547	3.22	59.8	179	359	3.82	42.0	126	252
2.03	153	459	917	2.63	90.4	271	543	3.23	59.4	178	356	3.83	41.7	125	250
2.04	151	454	908	2.64	89.7	269	538	3.24	59.0	177	354	3.84	41.5	125	249
2.05	150	450	899	2.65	89.0	267	534	3.25	58.6	176	352	3.85	41.3	124	248
2.06	148	445	890	2.66	88.4	265	530	3.26	58.3	175	350	3.86	41.1	123	246
2.07	147	441	882	2.67	87.7	263	526	3.27	57.9	174	347	3.87	40.9	123	245
2.08	146	437	873	2.68	87.0	261	522	3.28	57.5	173	345	3.88	40.6	122	244
2.09	144	432	865	2.69	86.4	259	518	3.29	57.2	172	343	3.89	40.4	121	242
2.10	143	428	856	2.70	85.7	257	514	3.30	56.8	170	341	3.90	40.2	121	241
2.11	141	424	848	2.71	85.1	255	510	3.31	56.5	169	339	3.91	40.0	120	240
2.12	140	420	840	2.72	84.4	253	507	3.32	56.1	168	337	3.92	39.8	119	239
2.13	139	416	832	2.73	83.8	251	503	3.33	55.8	167	335	3.93	39.6	119	237
2.14	137	412	824	2.74	83.2	250	499	3.34	55.4	166	333	3.94	39.4	118	236
2.15	136	408	817	2.75	82.6	248	495	3.35	55.1	165	331	3.95	39.1	117	235
2.16	135	404	809	2.76	81.9	246	492	3.36	54.8	164	329	3.96	38.9	117	234
2.17	134	401	802	2.77	81.3	244	488	3.37	54.4	163	326	3.97	38.7	116	232
2.18	132	397	794	2.78	80.8	242	485	3.38	54.1	162	325	3.98	38.5	116	231
2.19	131	393	787	2.79	80.2	240	481	3.39	53.8	161	323	3.99	38.3	115	230
2.20	130	390	780	2.80	79.6	239	477	3.40	53.4	160	321	4.00	38.1	114	229
2.21	129	386	772	2.81	79.0	237	474	3.41	53.1	159	319	4.01	37.9	114	228
2.22	128	383	765	2.82	78.4	235	471	3.42	52.8	158	317	4.02	37.7	113	226
2.23	126	379	758	2.83	77.9	234	467	3.43	52.5	157	315	4.03	37.5	113	225
2.24	125	376	752	2.84	77.3	232	464	3.44	52.2	156	313	4.04	37.3	112	224
2.25	124	372	745	2.85	76.8	230	461	3.45	51.8	155	311	4.05	37.1	111	223
2.26	123	369	738	2.86	76.2	229	457	3.46	51.5	155	309	4.06	37.0	111	222
2.27	122	366	732	2.87	75.7	227	454	3.47	51.2	154	307	4.07	36.8	110	221
2.28	121	363	725	2.88	75.1	225	451	3.48	50.9	153	306	4.08	36.6	110	219
2.29	120	359	719	2.89	74.6	224	448	3.49	50.6	152	304	4.09	36.4	109	218
2.30	119	356	712	2.90	74.1	222	444	3.50	50.3	151	302	4.10	36.2	109	217
2.31	118	353	706	2.91	73.6	221	441	3.51	50.0	150	300	4.11	36.0	108	216
2.32	117	350	700	2.92	73.0	219	438	3.52	49.7	149	298	4.12	35.8	108	215
2.33	116	347	694	2.93	72.5	218	435	3.53	49.4	148	297	4.13	35.7	107	214
2.34	115	344	688	2.94	72.0	216	432	3.54	49.2	147	295	4.14	35.5	106	213
2.35	114	341	682	2.95	71.5	215	429	3.55	48.9	147	293	4.15	35.3	106	212
2.36	113	338	676	2.96	71.0	213	426	3.56	48.6	146	292	4.16	35.1	105	211
2.37	112	335	670	2.97	70.5	212	423	3.57	48.3	145	290	4.17	34.9	105	210
2.38	111	332	665	2.98	70.1	210	420	3.58	48.0	144	288	4.18	34.8	104	209
2.39	110	330	659	2.99	69.6	209	417	3.59	47.7	143	286	4.19	34.6	104	208
2.40	109	327	653	3.00	69.1	207	415	3.60	47.5	142	285	4.20	34.4	103	207
2.41	108	324	648	3.01	68.6	206	412	3.61	47.2	142	283	4.21	34.2	103	205
2.42	107	322	643	3.02	68.2	205	409	3.62	46.9	141	282	4.22	34.1	102	204
2.43	106	319	637	3.03	67.7	203	406	3.63	46.7	140	280	4.23	33.9	102	203
2.44	105	316	632	3.04	67.3	202	404	3.64	46.4	139	278	4.24	33.7	101	202
2.45	104	313	627	3.05	66.8	200	401	3.65	46.1	138	277	4.25	33.6	101	201
2.46	104	311	621	3.06	66.4	199	398	3.66	45.9	138	275	4.26	33.4	100	200
2.47	103	308	616	3.07	65.9	198	395	3.67	45.6	137	274	4.27	33.2	99.7	199
2.48	102	306	611	3.08	65.5	196	393	3.68	45.4	136	272	4.28	33.1	99.2	198
2.49	101	303	606	3.09	65.0	195	390	3.69	45.1	135	271	4.29	32.9	98.8	198
2.50	100	301	601	3.10	64.6	194	388	3.70	44.9	135	269	4.30	32.8	98.3	197
2.51	99.4	298	597	3.11	64.2	193	385	3.71	44.6	134	268	4.31	32.6	97.8	196
2.52	98.6	296	592	3.12	63.8	191	383	3.72	44.4	133	266	4.32	32.4	97.3	195
2.53	97.8	294	587	3.13	63.3	190	380	3.73	44.1	132	265	4.33	32.3	96.8	194
2.54	97.1	291	582	3.14	62.9	189	378	3.74	43.9	132	263	4.34	32.1	96.4	193
2.55	96.3	289	578	3.15	62.5	188	375	3.75	43.6	131	262	4.35	32.0	95.9	192
2.56	95.5	287	573	3.16	62.1	186	373	3.76	43.4	130	260	4.36	31.8	95.5	191
2.57	94.8	284	569	3.17	61.7	185	370	3.77	43.1	129	259	4.37	31.7	95.0	190
2.58	94.0	282	564	3.18	61.3	184	368	3.78	42.9	129	257	4.38	31.5	94.5	189
2.59	93.3	280	560	3.19	60.9	183	366	3.79	42.7	128	256	4.39	31.4	94.1	188

8. Procedure

8.1 Magnitude of Test Force—Typically, the force in the standard Brinell test shall be 29.42 kN (3000 kgf), 14.7 kN

(1500 kgf), or 4.90 kN (500 kgf). It is recommended that the diameter of the indentation be between 24 and 60 % of the ball diameter. A lower limit in indentation diameter is necessary



E 10 ± 01^{e1}

TABLE 2 Continued

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force
4.40	31.2	93.6	187	5.05	23.3	69.8	140	5.70	17.8	53.5	107	6.35	14.0	42.0	84.0
4.41	31.1	93.2	186	5.06	23.2	69.5	139	5.71	17.8	53.3	107	6.36	13.9	41.8	83.7
4.42	30.9	92.7	185	5.07	23.1	69.2	138	5.72	17.7	53.1	106	6.37	13.9	41.7	83.4
4.43	30.8	92.3	185	5.08	23.0	68.9	138	5.73	17.6	52.9	106	6.38	13.8	41.5	83.1
4.44	30.6	91.8	184	5.09	22.9	68.6	137	5.74	17.6	52.7	105	6.39	13.8	41.4	82.8
4.45	30.5	91.4	183	5.10	22.8	68.3	137	5.75	17.5	52.5	105	6.40	13.7	41.2	82.5
4.46	30.3	91.0	182	5.11	22.7	68.0	136	5.76	17.4	52.3	105	6.41	13.7	41.1	82.2
4.47	30.2	90.5	181	5.12	22.6	67.7	135	5.77	17.4	52.1	104	6.42	13.6	40.9	81.9
4.48	30.0	90.1	180	5.13	22.5	67.4	135	5.78	17.3	51.9	104	6.43	13.6	40.8	81.6
4.49	29.9	89.7	179	5.14	22.4	67.1	134	5.79	17.2	51.7	103	6.44	13.5	40.6	81.3
4.50	29.8	89.3	179	5.15	22.3	66.9	134	5.80	17.2	51.5	103	6.45	13.5	40.5	81.0
4.51	29.6	88.8	178	5.16	22.2	66.6	133	5.81	17.1	51.3	103	6.46	13.4	40.4	80.7
4.52	29.5	88.4	177	5.17	22.1	66.3	133	5.82	17.0	51.1	102	6.47	13.4	40.2	80.4
4.53	29.3	88.0	176	5.18	22.0	66.0	132	5.83	17.0	50.9	102	6.48	13.4	40.1	80.1
4.54	29.2	87.6	175	5.19	21.9	65.8	132	5.84	16.9	50.7	101	6.49	13.3	39.9	79.8
4.55	29.1	87.2	174	5.20	21.8	65.5	131	5.85	16.8	50.5	101	6.50	13.3	39.8	79.6
4.56	28.9	86.8	174	5.21	21.7	65.2	130	5.86	16.8	50.3	101	6.51	13.2	39.6	79.3
4.57	28.8	86.4	173	5.22	21.6	64.9	130	5.87	16.7	50.2	100	6.52	13.2	39.5	79.0
4.58	28.7	86.0	172	5.23	21.6	64.7	129	5.88	16.7	50.0	99.9	6.53	13.1	39.4	78.7
4.59	28.5	85.6	171	5.24	21.5	64.4	129	5.89	16.6	49.8	99.5	6.54	13.1	39.2	78.4
4.60	28.4	85.4	170	5.25	21.4	64.1	128	5.90	16.5	49.6	99.2	6.55	13.0	39.1	78.2
4.61	28.3	84.8	170	5.26	21.3	63.9	128	5.91	16.5	49.4	98.8	6.56	13.0	38.9	78.0
4.62	28.1	84.4	169	5.27	21.2	63.6	127	5.92	16.4	49.2	98.4	6.57	12.9	38.8	77.6
4.63	28.0	84.0	168	5.28	21.1	63.3	127	5.93	16.3	49.0	98.0	6.58	12.9	38.7	77.3
4.64	27.9	83.6	167	5.29	21.0	63.1	126	5.94	16.3	48.8	97.7	6.59	12.8	38.5	77.1
4.65	27.8	83.3	167	5.30	20.9	62.8	126	5.95	16.2	48.7	97.3	6.60	12.8	38.4	76.8
4.66	27.6	82.9	166	5.31	20.9	62.6	125	5.96	16.2	48.5	96.9	6.61	12.8	38.3	76.5
4.67	27.5	82.5	165	5.32	20.8	62.3	125	5.97	16.1	48.3	96.6	6.62	12.7	38.1	76.2
4.68	27.4	82.1	164	5.33	20.7	62.1	124	5.98	16.0	48.1	96.2	6.63	12.7	38.0	76.0
4.69	27.3	81.8	164	5.34	20.6	61.8	124	5.99	16.0	47.9	95.9	6.64	12.6	37.9	75.7
4.70	27.1	81.4	163	5.35	20.5	61.5	123	6.00	15.9	47.7	95.5	6.65	12.6	37.7	75.4
4.71	27.0	81.0	162	5.36	20.4	61.3	123	6.01	15.9	47.6	95.1	6.66	12.5	37.6	75.2
4.72	26.9	80.7	161	5.37	20.3	61.0	122	6.02	15.8	47.4	94.8	6.67	12.5	37.5	74.9
4.73	26.8	80.3	161	5.38	20.3	60.8	122	6.03	15.7	47.2	94.4	6.68	12.4	37.3	74.7
4.74	26.6	79.9	160	5.39	20.2	60.6	121	6.04	15.7	47.0	94.1	6.69	12.4	37.2	74.4
4.75	26.5	79.6	159	5.40	20.1	60.3	121	6.05	15.6	46.8	93.7	6.70	12.4	37.1	74.1
4.76	26.4	79.2	158	5.41	20.0	60.1	120	6.06	15.6	46.7	93.4	6.71	12.3	36.9	73.9
4.77	26.3	78.9	158	5.42	19.9	59.8	120	6.07	15.5	46.5	93.0	6.72	12.3	36.8	73.6
4.78	26.2	78.5	157	5.43	19.9	59.6	119	6.08	15.4	46.3	92.7	6.73	12.2	36.7	73.4
4.79	26.1	78.2	156	5.44	19.8	59.3	119	6.09	15.4	46.2	92.3	6.74	12.2	36.6	73.1
4.80	25.9	77.8	156	5.45	19.7	59.1	118	6.10	15.3	46.0	92.0	6.75	12.1	36.4	72.8
4.81	25.8	77.5	155	5.46	19.6	58.9	118	6.11	15.3	45.8	91.7	6.76	12.1	36.3	72.6
4.82	25.7	77.1	154	5.47	19.5	58.6	117	6.12	15.2	45.7	91.3	6.77	12.1	36.2	72.3
4.83	25.6	76.8	154	5.48	19.5	58.4	117	6.13	15.2	45.5	91.0	6.78	12.0	36.0	72.1
4.84	25.5	76.4	153	5.49	19.4	58.2	116	6.14	15.1	45.3	90.6	6.79	12.0	35.9	71.8
4.85	25.4	76.1	152	5.50	19.3	57.9	116	6.15	15.1	45.2	90.3	6.80	11.9	35.8	71.6
4.86	25.3	75.8	152	5.51	19.2	57.7	115	6.16	15.0	45.0	90.0	6.81	11.9	35.7	71.3
4.87	25.1	75.4	151	5.52	19.2	57.5	115	6.17	14.9	44.8	89.6	6.82	11.8	35.5	71.1
4.88	25.0	75.1	150	5.53	19.1	57.2	114	6.18	14.9	44.7	89.3	6.83	11.8	35.4	70.8
4.89	24.9	74.8	150	5.54	19.0	57.0	114	6.19	14.8	44.5	89.0	6.84	11.8	35.3	70.6
4.90	24.8	74.4	149	5.55	18.9	56.8	114	6.20	14.7	44.3	88.7	6.86	11.7	35.2	70.4
4.91	24.7	74.1	148	5.56	18.9	56.6	113	6.21	14.7	44.2	88.3	6.86	11.7	35.1	70.1
4.92	24.6	73.8	148	5.57	18.8	56.3	113	6.22	14.7	44.0	88.0	6.87	11.6	34.9	69.9
4.93	24.5	73.5	147	5.58	18.7	56.1	112	6.23	14.6	43.8	87.7	6.88	11.6	34.8	69.6
4.94	24.4	73.2	146	5.59	18.6	55.9	112	6.24	14.6	43.7	87.4	6.89	11.6	34.7	69.4
4.95	24.3	72.8	146	5.60	18.6	55.7	111	6.25	14.5	43.5	87.1	6.90	11.5	34.6	69.2
4.96	24.2	72.5	145	5.61	18.5	55.5	111	6.26	14.5	43.4	86.7	6.91	11.5	34.5	68.9
4.97	24.1	72.2	144	5.62	18.4	55.2	110	6.27	14.4	43.2	86.4	6.92	11.4	34.3	68.7
4.98	24.0	71.9	144	5.63	18.3	55.0	110	6.28	14.4	43.1	86.1	6.93	11.4	34.2	68.4
4.99	23.9	71.6	143	5.64	18.3	54.8	110	6.29	14.3	42.9	85.8	6.94	11.4	34.1	68.2
5.00	23.8	71.3	143	5.65	18.2	54.6	109	6.30	14.2	42.7	85.5	6.95	11.3	34.0	68.0
5.01	23.7	71.0	142	5.66	18.1	54.4	109	6.31	14.2	42.6	85.2	6.96	11.3	33.9	67.7
5.02	23.6	70.7	141	5.67	18.1	54.2	108	6.32	14.1	42.4	84.9	6.97	11.3	33.8	67.5
5.03	23.5	70.4	141	5.68	18.0	54.0	108	6.33	14.1	42.3	84.6	6.98	11.2	33.6	67.3
5.04	23.4	70.1	140	5.69	17.9	53.7	107	6.34	14.0	42.1	84.3	6.99	11.2	33.5	67.0

^a Prepared by the Engineering Mechanics Section, National Bureau of Standards. because of the risk in damaging the ball and difficulty measuring the indentation. The upper limit is necessary because of a

reduction in sensitivity as the diameter of the indentation approaches the ball diameter. The thickness and spacing



TABLE 3 Test Conditions

Hardness Symbol	Ball Diameter D , mm	$0.102 F$ D^2	Test Force F Nominal Value
HBW 10/3000	10	30	29.42 kN - (3000 kgf)
HBW 10/1500	10	15	14.71 kN - (1500 kgf)
HBW 10/1000	10	10	9.807 kN - (1000 kgf)
HBW 10/500	10	5	4.903 kN - (500 kgf)
HBW 10/250	10	2.5	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 10/125	10	1.25	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 10/100	10	1	980.7 N - (100 kgf)
HBW 5/750	5	30	7.355 kN - (750 kgf)
HBW 5/250	5	10	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 5/125	5	5	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 5/25	5	1	245.2 N - (25 kgf)
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1.839 kN - (187.5 kgf)
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2 N - (15.625 kgf)
HBW 2.5/7.8125	2.5	1.25	76.61 N - (7.8125 kgf)
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29 N - (6.25 kgf)
HBW 2/120	2	30	1.177 kN - (120 kgf)
HBW 2/40	2	10	392.3 N - (40 kgf)
HBW 2/20	2	5	196.1 N - (20 kgf)
HBW 2/10	2	2.5	98.07 N - (10 kgf)
HBW 2/5	2	1.25	49.03 N - (5 kgf)
HBW 2/4	2	1	39.23 N - (4 kgf)
HBW 1/30	1	30	294.2 N - (30 kgf)
HBW 1/10	1	10	98.07 N - (10 kgf)
HBW 1/5	1	5	49.03 N - (5 kgf)
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52 N - (2.5 kgf)
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26 N - (1.25 kgf)
HBW 1/1	1	1	9.807 N - (1 kgf)

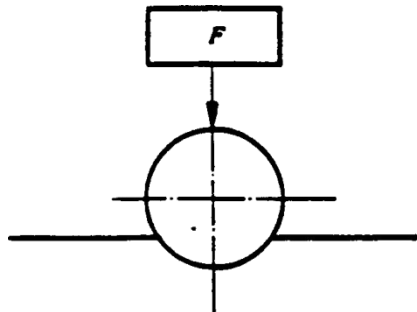


FIG. 1 Principle of Test

requirements of 6.1.1, 6.1.2, and 8.3 may determine the maximum permissible diameter of indentation for a speci@c test. Table 6 gives standard test forces and approximate Brinell hardness numbers for the above range of indentation diameters. It is not mandatory that the Brinell test conform to these hardness ranges, but it should be realized that different Brinell hardness numbers may be obtained for a given material by using different forces on a 10-mm diameter ball. For the purpose of obtaining a continuous scale of values it may be desirable, however, to use a single force to cover the complete

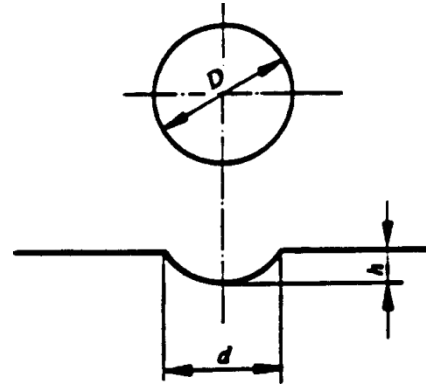


FIG. 2 Principle of Test

TABLE 4 Tolerances for Brinell Hardness Balls

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	60.005
5	60.004
2.5	60.003
2	60.003
1	60.003

TABLE 5 Minimum Thickness Requirements for Brinell Hardness Tests

Minimum Thickness of Specimen		Minimum Hardness for Which the Brinell Test May Safely Be Made		
in.	mm	3000-kgf Force	1500-kgf Force	500-kgf Force
$\frac{1}{16}$	1.6	602	301	100
$\frac{1}{8}$	3.2	301	150	50
$\frac{3}{16}$	4.8	201	100	33
$\frac{1}{4}$	6.4	150	75	25
$\frac{5}{16}$	8.0	120	60	20
$\frac{3}{8}$	9.6	100	50	17

TABLE 6 Standard Test Forces

Ball Diameter, mm	Force	Recommended Range, HBW
10	29.42 kN (3000 kgf)	96 to 600
10	14.7 kN (1500 kgf)	48 to 300
10	4.90 kN (500 kgf)	16 to 100

TABLE 7 Hardness Ranges Used By Standard Test Block Method

100 to 200 HBW
300 to 400 HBW
500 to 600 HBW

range of hardness for a given class of materials. For softer metals, forces of 2.45 kN (250 kgf), 1.23 kN (125 kgf), or 0.981 kN (100 kgf) are sometimes used. The force used shall be speci@cally stated in the test report (see 11.1.2).

8.1.1 For testing thin or small specimens, a ball less than 10 mm in diameter is sometimes used. Such tests, which are not to be regarded as standard tests, will approximate the standard tests more closely if the relation between the applied force, F , measured in N, and the diameter of the ball, D , measured in mm is the same as in the standard tests,

where:

$$0.102F/D^2 = 30 \text{ for } 29.42 \text{ kN (3000 kgf) force and 10-mm ball,}$$

$$0.102F/D^2 = 15 \text{ for } 14.72 \text{ kN (1500 kgf) force and 10-mm ball, and}$$

$$0.102F/D^2 = 5 \text{ for } 4.90 \text{ kN (500 kgf) force and 10-mm ball.}$$

8.1.1.1 *Example*—A 1.23-kN (125-kgf) test force on a 5-mm diameter ball would approximate a standard 4.90-kN (500-kgf) test force on a 10-mm diameter ball.

8.1.2 Tests for soft metals often are made with the following force-diameter ratios:

$$\begin{aligned} 0.102F/D^2 &= 2.5 \\ 0.102F/D^2 &= 5 \text{ 1.25} \\ 0.102F/D^2 &= 5 \text{ 1.0} \end{aligned} \quad (2)$$

8.1.3 When balls smaller than 10 mm in diameter are used, both the test force and ball size shall be specifically stated in the test report (see 3.1.1, 3.1.1.1, and 11.1.2).

8.2 *Radius of Curvature*—When indentations are made on a curved surface, the minimum radius of curvature of the surface shall be not less than $2^{1/2}$ times the diameter of the ball. Indentations made on curved surfaces may be slightly elliptical rather than circular in shape. The measurements of the indentation shall be taken as the mean of the major and minor axes.

8.3 *Spacing of Indentations*—The distance of the center of the indentation from the edge of the specimen or edge of another indentation shall be at least two and one half times the diameter of the indentation.

8.4 *Application of Test Force*—Apply the force to the specimen uniformly taking precautions to prevent a momentary overload of the system. Apply the full test force for 10 to 15 s.

8.4.1 If a duration of test force application other than 10 to 15 s is used, results of the test shall be reported using the nomenclature outlined in 3.1.1.2 and 11.1.2.

8.5 *Alignment*—The angle between the indenter force line and the surface of the specimen should be $90 \pm 2^\circ$. (see 9.1)

9. Measurement of Indentation

9.1 *Diameter*—In the Brinell hardness test, two diameters of the indentation at right angles to each other shall be measured and their mean value used as a basis for calculation of the Brinell hardness number for flat specimens. If the largest and smallest diameters for two readings of the same indentation differ by 0.1 mm or more, refer to the material specifications for further guidance. For routine tests and for tests to determine compliance with a material or product specification, the diameter of the indentation shall be estimated to 0.05 mm (0.0020 in.).

NOTE 4—These measurements are usually made with a low-magnification portable measuring device (approximately 203) having a



fixed scale in the eyepiece. If a more accurate determination is needed, as in referee or standardization tests, a laboratory comparator such as a micrometer measuring device is required.

10. Conversion to Other Hardness Scales or Tensile Strength Values

There is no general method for accurately converting Brinell hardness numbers to other hardness scales or tensile strength values. Such conversions are, at best, approximations and, therefore, should be avoided except for special cases where a reliable basis for the approximate conversion has been obtained by comparison tests.

NOTE 5—Hardness Conversion Tables E 140 for Metals give approximate hardness conversion values for specific materials such as steel, austenitic stainless steel, nickel and high-nickel alloys, and cartridge brass.

11. Report

11.1 Whenever a Brinell hardness number is used, provide the following information:

11.1.1 The Brinell hardness number, which shall be reported rounded to three significant digits in accordance with rounding method in Practice E 29 (for example, 125 HBW, 99.2 HBW).

11.1.2 The test conditions when the Brinell hardness number is determined from forces other than 29.42 kN (3000 kgf), ball diameters other than 10 mm, and test force applications other than 10 to 15 s (see 3.1.1 and 8.4).

12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—An interlaboratory comparison program is now in progress which, when completed, will be the basis of a statement on precision.

12.2 *Bias*—There is no basis for defining the bias for this test method.

TEST METHOD B—VERIFICATION OF BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

13. Scope

Test Method B covers two procedures for the verification of Brinell hardness testing machines. These are as follows:

Direct Verification—Separate verification of force application, indenter, and the measuring device for measuring the diameter of the indentation.

Indirect Verification—Verification by the standardized test block method.

New or rebuilt machines shall be initially checked by the direct verification method (see 13.1.1) before being placed in service.

Machines used for routine testing may be checked by either verification method.

14. General Requirements

14.1 Before a Brinell hardness testing machine is verified, the machine shall be examined to ensure that:

14.1.1 The machine is set up properly.

14.1.2 The ball holder, with a new ball whose nominal diameter has been checked (see 15.1.2), is mounted firmly in the plunger.



E 10 ± 01^{e1}

14.1.3 The force will be applied and removed without shock or vibration.

14.2 If the measuring device is integral with the machine, the machine shall be examined to ensure the following:

12.3 The change from test force application to measuring does not influence the readings.

12.4 The method of illumination does not affect the readings.

12.5 The center of the indentation is in the center of the field of view.

15. Verification

15.1 *Direct Verification*—Separate verification of force application, indenter, and measuring device:

15.1.1 *Force Application*—Brinell hardness testing machines shall be verified at the test force(s) at which it is used. The test forces will be checked periodically with a force measuring device traceable to national standards (in the United States, National Institute of Standards and Technology) in the manner described in Practices E 4. A Brinell hardness testing machine is acceptable for use when the test force error does not exceed 61 %.

15.1.2 *Indenter*—The indenter to be verified shall be a new ball selected at random from a lot meeting the hardness requirements specified in 5.2. The diameter of each ball shall be verified at not less than three positions and the mean of these readings shall not differ from the nominal diameter by more than the tolerance specified in Table 4.

15.1.3 *Measuring Device*—The measuring device used to determine the diameter of the indentation shall be verified at 9ve intervals over the working range by the use of an accurate scale such as a stage micrometer. The adjustment of the device shall be such that, throughout the range covered, the difference between the scale divisions of the device and of the calibrating scale does not exceed 0.01 mm (0.0004 in.).

15.1.4 The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.2 *Indirect Verification*—Verification by standardized test block method.

15.1.5 A Brinell hardness testing machine also may be checked by making a series of at least 9ve indentations on standardized hardness test blocks (Test Method C).

15.1.6 If the machine is to be used at conditions other than 10/29.42 kN (3000 kgf)/15, the machine also shall be verified at those other conditions.

15.1.7 The testing machine shall be verified for each test force and for each size of ball used. For each test force, standardized blocks within the hardness ranges given in Table 7, shall be used.

NOTE 6—When the hardness test in question makes it impossible to reach the higher hardness range defined in Table 7 (for 0.102/F/D² = 5 or 10), the verification may be carried out with two blocks from the lower hardness range.

15.2.3.1 Verification shall be carried out using a tungsten carbide ball and this verification will be valid for hardnesses # 650 HBW.

15.2.4 *Repeatability*—For each standardized block, let d_1, d_2, \dots, d_n be the mean values of the measured diameter of the indentations, arranged in increasing order of magnitude. The repeatability of the testing machine under the particular verification conditions is determined by the following quantity:

$$d_n - 2d_1 \quad (3)$$

The repeatability of the testing machine verified is not considered satisfactory unless it satisfies the conditions given in Table 8.

15.2.5 *Error*—The error of the testing machine under the particular verification conditions is characterized by the following quantity:

$$\frac{\bar{A}}{H} - 2H \quad (4)$$

where:

$$\bar{A} = H - H$$

$$\bar{A} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (5)$$

H_1, H_2, \dots, H_n = the hardness values corresponding to d_1, d_2, \dots, d_n , and

H = specified hardness of the standardized block.

The Brinell hardness testing machine shall be considered verified if the mean hardness differs by no more than 3 % from the hardness value of the standardized hardness test block.

The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.3 *Verification Report*—The test report shall include the following information:

- 15.3.1 Reference to this ASTM test method,
- 15.3.2 Method of verification (direct or indirect),
- 15.3.3 Identification of the hardness testing machine,
- 15.3.4 Means of verification (test blocks, elastic proving devices, etc.),
- 15.3.5 Diameter of indenter ball and test force,
- 15.3.6 The result obtained,
- 15.3.7 Date of verification and reference to the calibration institution, and
- 15.3.8 Identity of person performing the verification.

16. Procedure for Periodic Checks by the User

16.1 Verification by the standardized test block method (15.2) is too lengthy for daily use. Instead, the following is recommended:

TABLE 8 Repeatability of Testing Machine

Hardness of Standardized Block HBW	Repeatability of the Testing Machine, max	HBW	
		H	H ₁ ±H ₅ , max
<225	0.04 d _A	100	9
		200	17
		300	12
		400	17
		500	20
>225	0.02 d _A	600	24



16.1.1 Make at least one routine check in accordance with 7.11.3.3 each day that the testing machine is used.

Consult the machine manufacturer's start-up procedures. Select the force, indenter, and measuring device that will be used for the routine testing. Make at least two indentations on a standardized hardness test block. If the mean of these two values falls within the tolerances required (see 15.2.6), the hardness machine may be regarded as producing satisfactory hardness results. If not, the hardness machine shall be verified as described in 15.2.

TEST METHOD CALIBRATION OF STANDARDIZED HARDNESS TEST BLOCKS FOR BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

17. Scope

17.1 This test method covers the calibration of standardized hardness test blocks for the verification of Brinell hardness testing machines as described in Test Method B.

18. Manufacture

18.1 Each metal block to be calibrated shall be not less than 1 mm (⁵/₃₂ in.) in thickness for 10-mm balls, 12 mm (¹/₂ in.) thick for 5-mm balls, and 6 mm (¹/₄ in.) thick for smaller balls.

18.1.1 The maximum surface area of the test block shall be 9. cm² (6 in.²) for balls less than 5 mm in diameter, and 150 cm² (24 in.²) for balls equal to or greater than 5 mm in diameter.

1 Each block shall be specially prepared and heat treated to give the necessary homogeneity and stability of structure.

2 The maximum error in parallelism shall not exceed 0.0008 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter greater than or equal to 5 mm and 0.002 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter less than 5 mm. The maximum deviation in flatness of the block surfaces shall not exceed 0.02 mm (0.0008 in.) and 0.005 mm (0.0002 in.) for balls having diameters equal to or greater than 5 mm and less than 5 mm, respectively.

3 The supporting surface of the test block shall have a ground finish and shall have a mean surface roughness height rating that shall not exceed 0.0008-mm (32- μ in.) centerline average.

4 The test surface shall be free of scratches which would interfere with measurements of the diameters of the indentation.

18.5.1 The mean surface roughness height of the test surface rating shall not exceed 0.0003-mm (12- μ in.) center line average for the standard 10-mm ball. For smaller balls a maximum mean test surface roughness height rating of 0.00015 mm (6 μ in.) is recommended.

5 To permit checking that no material is subsequently removed from the standardized block, its thickness at the time of standardization shall be marked on it to the nearest 0.1 mm (0.004 in.), or an identifying mark shall be made on the test surface. (See Section 24.)

6 Each block, if of steel, shall be demagnetized by the manufacturer and maintained demagnetized by the user.

7 Each block must be uniquely serialized by the manufacturer for traceability.

7.14.7 Standardizing Procedure

The standardized blocks shall be calibrated on a Brinell hardness testing machine which was verified in accordance with the requirements of 15.1.

The mechanism that controls the application of the force shall ensure that the speed of approach immediately before the ball touches the specimen and the speed of penetration does not exceed 1 mm/s (0.040 in./s).

The test force shall be within 0.25 % of the nominal force. Use of a Practice E 74 Class AA device will be required to verify the force.

The test force shall be applied for 10 to 15 s.

The standardized blocks shall be calibrated at a temperature of 23 ± 5°C, using the general procedure described in Test Method A.

7.14.8 Indenter

20.1 A ball conforming to the requirements of 15.1.2 shall be used for calibrating standardized hardness test blocks.

21. Number of Indentations

21.1 At least eight uniformly distributed indentations shall be made on the test surface of the block.

22. Measurement of the Diameters of the Indentation

12.7 The illuminating system of the measuring device shall be adjusted to give uniform intensity over the field of view and maximum contrast between the indentations and the undisturbed surface of the block.

12.8 The measuring device shall be graduated to read 0.002 mm (0.00008 in.) for indentations made with balls of 5-mm diameter or larger and 0.001 mm (0.00004 in.) for indentations made with balls of smaller diameter.

12.9 The measuring device shall be checked by a stage micrometer, or by other suitable means to ensure that the difference between readings corresponding to any two divisions of the instrument is within 60.001 mm (0.00004 in.) for balls of less than 5-mm diameter and within 60.002 mm (0.00008 in.) for balls of larger diameter.

16. Uniformity of Hardness

13.1 If d_1, d_2, \dots, d_n are the mean values of the measured diameters as determined by one observer and arranged in increasing order of magnitude, the range of the hardness readings, measured from the last block, is defined as $d_n - d_1$ where $n =$ at least eight indentations.

13.2 The range of hardness readings shall be equal to or less than 2 % of the mean diameter for Brinell hardness numbers equal to or less than 225 and 1 % for Brinell hardness number values greater than 225.

17. Marking

14.2 Each standardized block shall be marked with the following:

24.1.1 The arithmetic mean of the hardness values found in the standardizing test and the type of ball used.

24.1.2 The name or mark of the supplier.

24.1.3 The serial number or other unique identification of the block.



6 Name or mark of the calibrating agency if different from supplier.

7 The thickness of the block or an official mark on the test surface (see 18.6).

8 The year of calibration. It is sufficient that the year of calibration be incorporated into the serial number of the block.

24.2 All of the markings except the official mark should be placed outside of the test area or on the side of the block. When the markings are on the side of the block, the markings shall be upright when the test surface is the upper face.

24.3 Each block shall be supplied with a certificate showing the results of the individual standardizing tests and the arithmetic mean of those tests, including the following:

- K Date of standardization,
- L Serial number of block, and
- M Name of manufacturer or mark of supplier.

25. Keywords

25.1 Brinell hardness; metallic

SUMMARY OF CHANGES

Committee E28 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue E 10-00a that may impact the use of this standard. The numbering system used in this Summary reflects current numbering of this edition of E 10.

NOTE 7D Most of the changes listed below resulted from the new requirement for using only tungsten-carbide indenter balls and disallowing the use of steel indenter balls (see 5.2.2.2)

- (1) 2.1 ± E 74 title revised.
- (2) 3 ± definitions alphabetized and new numbering structure used.
- (3) 3.1 ± new title added.
- (4) 3.1.1 (formerly 3.2) - revised
- (5) Equation 1 ± editorial correction
- (6) 3.1.1.1 (formerly Note 2) - revised
- (7) 3.1.1.2 (formerly Note 3) - revised
- (8) 3.1.1.3 (formerly part of Note 3)
- (9) 3.1.1.4 (formerly part of Note 3)
- (10) 3.1.2 (formerly 3.2) - revised
- (11) 3.1.2.1 (formerly Discussion 1) - revised
- (12) Former Discussion 2 ± deleted
- (13) Former Discussion 3 ± deleted
- (14) Table 1 ± revised and editorially corrected
- (15) 3.1.3 (formerly 3.4)

- (16) 3.1.4 (formerly 3.3)
- (17) 5.2.2 ± replaced
- (18) Former Note 5 ± deleted
- (19) 5.2.2.2 ± added
- (20) 5.2.3 ± revised
- (21) Table 2 ± revised
- (22) Table 3 ± revised
- (23) Table 5 ± revised
- (24) Table 6 (formerly Table 7) - revised
- (25) Table 7 (formerly Table 6) - revised
- (26) Former Table 8 - deleted
- (27) 8.5-revised
- (28) 11.1.1 ± revised
- (29) 15.2.3 ± revised
- (30) 15.2.3.1 ± revised
- (31) 15.3.5- revised
- (32) Table 9 ± renumbered as Table 8 and revised
- (33) Summary of Changes added.

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).



Designation: E 415 ± 99a

Standard Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel¹

This standard is issued under the ®xed designation E 415; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

2. Scope

1.1 This test method covers the simultaneous determination of 20 alloying and residual elements in carbon and low-alloy steels in the concentration ranges shown (Note 1).

Element	Concentration Range, %	
	Applicable Range, % ^A	Quantitative Range, % ^B
Aluminum	0 to 0.075	0.02 to 0.075
Arsenic	0 to 0.1	0.05 to 0.1
Boron	0 to 0.007	0.002 to 0.007
Calcium	0 to 0.003	0.001 to 0.003
Carbon	0 to 1.1	0.08 to 1.1
Chromium	0 to 2.25	0.02 to 2.25
Cobalt	0 to 0.18	0.008 to 0.18
Copper	0 to 0.5	0.04 to 0.5
Manganese	0 to 2.0	0.10 to 2.0
Molybdenum	0 to 0.6	0.03 to 0.6
Nickel	0 to 5.0	0.02 to 5.0
Niobium	0 to 0.085	0.02 to 0.085
Nitrogen	0 to 0.015	0.004 to 0.015
Phosphorous	0 to 0.085	0.02 to 0.085
Silicon	0 to 1.15	0.07 to 1.15
Sulfur	0 to 0.055	0.01 to 0.055
Tin	0 to 0.045	0.01 to 0.045
Titanium	0 to 0.2	0.004 to 0.2
Vanadium	0 to 0.3	0.004 to 0.3
Zirconium	0 to 0.05	0.02 to 0.05

^AApplicable range in accordance with Guide E 1763 for results reported in accordance with Practice E 1950.

^BQuantitative range in accordance with Practice E 1601.

NOTE 1D The concentration ranges of the elements listed have been established through cooperative testing² of reference materials. Included, in addition to the original data of Test Method E 415 ± 71, are data from cooperative testing of a broader range of reference materials to expand the element concentration ranges.

2 This test method covers analysis of specimens having a diameter adequate to overlap the bore of the spark stand opening (to effect an argon seal). The specimen thickness should be between 10 and 38 mm.

3 This test method covers the routine control analysis of

¹This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-1 on Analytical Chemistry for Metals, Ores and Related Materials and is the direct responsibility of Subcommittee E01.01 on Iron, Steel, and Ferroalloys.

Current edition approved Nov. 10, 1999. Published April 2000. Originally published as E 415 ± 71. Last previous edition E 415 ± 99.

²Supporting data for this test method have been ®led at ASTM Headquarters as RR:E2-1004.

preliminary and ladle tests from either basic oxygen, open-hearth, or electric furnaces and analysis of processed material. It is designed for either chill-cast or rolled and forged specimens. The reference materials and specimens should be of similar metallurgical condition and composition.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 30 Test Methods for Chemical Analysis of Steel, Cast Iron, Open-Hearth Iron, and Wrought Iron³

E 135 Terminology Relating to Analytical Chemistry for Metals, Ores, and Related Materials⁴

E 158 Practice for Fundamental Calculations to Convert Intensities into Concentrations in Optical Emission Spectrochemical Analysis⁴

E 305 Practice for Establishing and Controlling Spectrochemical Analytical Curves⁴

E 350 Test Methods for Chemical Analysis of Carbon Steel, Low-Alloy Steel, Silicon Electrical Steel, Ingot Iron, and Wrought Iron⁴

E 406 Practice for Using Controlled Atmospheres in Spectrochemical Analysis⁵

E 1019 Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel and in Iron, Nickel, and Cobalt Alloys⁵

E 1329 Practice for Verification and Use of Control Charts in Spectrochemical Analysis⁵

E 1601 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Evaluate the Performance of an Analytical Method⁵

E 1763 Guide for Interpretation and Use of Results from Interlaboratory Testing of Chemical Analysis Methods⁵

E 1806 Practice for Sampling Steel and Iron for Determination of Chemical Composition⁵

³ Discontinued 1995, see 1994 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.05.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.05.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.06

E 1950 Practice for Reporting Results from Methods of Chemical Analysis⁵

3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this test method, refer to Terminology E 135.

4. Summary of Test Method

4.1 The most sensitive lines of arsenic, boron, carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, and tin lie in the vacuum ultra-violet region. The absorption of the radiation by air in this region is overcome by evacuating the spectrometer and flushing the spark chamber with argon. A capacitor discharge is produced between the flat, ground surface of the disk specimen and a conically shaped electrode. The discharge is terminated at a predetermined intensity time integral of a selected iron line, or at a predetermined time, and the relative radiant energies or concentrations of the analytical lines are recorded.

5. Significance and Use

5.1 This test method for the spectrometric analysis of metals and alloys is primarily intended to test such materials for compliance with compositional specifications. It is assumed that all who use this test method will be analysts capable of performing common laboratory procedures skillfully and safely. It is expected that work will be performed in a properly equipped laboratory.

6. Apparatus

Sample Preparation Equipment:

6.1.1 *Sample Mold*, capable of producing castings that are homogeneous and free from voids and porosity. Refer to Practice E 1806 for steel sampling procedures. The following mold types have been found to produce acceptable samples:

6.2 *Cast Iron Mold*—A mold 70 mm (2³/₄ in.) deep, 64 mm (2¹/₂ in.) in diameter at the top of the mold, and 57 mm (2¹/₄ in.) in diameter at the bottom of the mold. The wall thickness of the mold is approximately 32 mm (1¹/₄ in.).

6.3 *Refractory Mold Ring*—A mold that has a minimum inside diameter of 32 mm (1¹/₄ in.) and a minimum height of 25 mm (1 in.). The ring is placed on a flat surface of a copper plate approximately 50 mm (2 in.) thick.

6.4 *Book-Type Steel or Copper Mold*, to produce a chill-cast disk 64 mm (2¹/₂ in.) in diameter and 13 mm (1¹/₂ in.) thick.

6.2 *Excitation Source*, capable of providing a triggered capacitor discharge having source parameters meeting the requirements of 11.1.

6.3 *Spark Chamber*, automatically flushed with argon. The spark chamber shall be mounted directly on the spectrometer, and shall be provided with a spark stand to hold a flat specimen and a lower electrode of rod form.

NOTE 2DClean the excitation chamber when the counter electrode is replaced. Clean the lens or protective window after approximately 200 to 300 excitations to minimize transmission losses.

Spectrometer, having a reciprocal linear dispersion of 2 nm/mm, or better, in the first order and a focal length of 2 to 3 m. Its approximate range shall be from 120.0 to 400.0

nm. Masks shall be provided in the spectrometer to eliminate scattered radiation. The spectrometer shall be provided with an air inlet and a vacuum outlet. The spectrometer shall be operated at a vacuum of 25 μ m of mercury or below. The primary slit width is 20 to 50 μ m. Secondary slit width is 50 to 6.44 μ m.

Measuring System, consisting of photomultipliers having individual voltage adjustments, capacitors in which the output of each photomultiplier is stored, a voltage measuring system to register the voltages on the capacitors either directly or indirectly, and the necessary switching arrangements to provide the desired sequence of operation.

Vacuum Pump, capable of maintaining a vacuum of 25 μ m Hg.

NOTE 3DA pump with a displacement of at least 0.23 m³/min (8 ft³/min) is usually adequate.

6.7 *Flushing System*, consisting of argon tanks, a pressure regulator, and a gas flowmeter. Automatic sequencing shall be provided to actuate the flow of argon at a given flow rate for a given time interval and to start the excitation at the end of the flush period. Means of changing the flow rate of argon shall be provided. The flushing system shall be in accordance with Practice E 406.

7. Reagents and Materials

7.1 *Counter Electrodes*—The counter electrodes shall be 6.4-mm (1³/₄-in.) diameter, hard-drawn, pure, silver rods, 1.5-mm (1¹/₁₆-in.) thoriated, tungsten rods, or other material provided it can be shown experimentally that equivalent precision and bias is obtained. Machine the rods to a 90 or 120° cone.

NOTE 4DA black deposit builds up on the tip of the electrode, thus reducing the overall intensity of the spectral radiation. In general this condition will not affect analytical performance for the first 40 or 50 excitations, after which time a freshly prepared counter electrode should be installed. The number of acceptable excitations on an electrode varies from one instrument to another, and should be established in each laboratory. With a thoriated tungsten electrode, it has been reported that a hundred or more excitations can usually be made before replacement.

Inert Gas, Argon, in accordance with Practice E 406.

9.4.6 Reference Materials

Certified Reference Materials (CRMs) are available from the National Institute of Standards and Technology and other sources. These cover all or part of the concentration ranges listed in 1.1. They are valuable in establishing preliminary working curves and determining the precision of the instrument. However, because of differences between these CRMs and the production specimens prepared by the sampling procedures recommended for this test method, curves based on CRMs may (in very unusual circumstances) need to be corrected with values from reference materials made by normal production sampling techniques and analyzed in accordance with Test Methods E 30, E 350, and E 1019.

Reference Materials—Periodically check the instrument for drift. For this purpose, verifiers and standardants are employed. These reference materials shall be homogeneous and contain appropriate amounts of each element, covering the concentration range of elements contained in the specimens.

9. Preparation of Specimens and Reference Materials

9.1 Use cast or rolled and forged samples. Cut a 13 to 25-mm (1/2 to 1-in.) thick slice from the sample or obtain an initial smooth flat surface by machining at least 1.3 mm (0.05 in.) off the original surface using a lathe or grinder. Make certain that the specimens are homogeneous and free from voids and pits in the region to be excited (Note 5). Rough grind the cut surface by grinding on a belt sander, either wet or dry, with 50 to 80-grit abrasive belt. Obtain the final surface by dry grinding. A finer abrasive belt, such as 120-grit, may be used for final dry grinding, but is not essential (Note 6).

NOTE 5 Specimen porosity is undesirable because it leads to the improper "diffuse-type" rather than the desired "concentrated-type" discharge. The specimen surface should be kept clean because the specimen is the electron emitter, and electron emission is inhibited by oily, dirty surfaces.

NOTE 6 Reference materials and specimens shall be re-finished dry on a belt sander before being re-excited on the same area.

10. Preparation of Apparatus

NOTE 7 The instructions given herein apply to most spectrometers; however, some settings and adjustments may need to be varied, and additional preparation of the equipment may be required. It is not within the scope of an ASTM test method to prescribe the minute details of the apparatus preparation which may differ not only for each manufacturer, but also for different equipment from the same manufacturer. For a description of and further details of operation of a particular spectrometer, refer to the manufacturer's handbook.

10.1 Program the spectrometer to accommodate the internal standard lines and one of the analytical lines for each element listed in Table 1.

NOTE 8 The lines listed in Table 1 have proven satisfactory for the elements and concentration ranges described in the scope. Other internal standard and analytical lines, such as those listed in Table 2, may be used provided that it can be shown experimentally that equivalent precision and accuracy are obtained.

TABLE 1 Internal Standard and Analytical Lines

10.2 Position or test the position of the spectrometer exit slits to ensure that peak radiation passes through each slit and is incident on the photomultiplier. This shall be done initially and as often as necessary thereafter to maintain proper alignment.

NOTE 9 The manner and frequency of positioning or checking the position of the exit slits will depend on factors such as: the type of spectrometer, the variety of analytical problems encountered, and the frequency of use. Each laboratory should establish a suitable check procedure.

11. Excitation and Exposure

11.1 Electrical Parameters (Note 10)

11.1.1 Select excitation parameters within the following ranges

	Triggered Capacitor Discharge
Capacitance, μF	10 to 15
Inductance, μH	50 to 70
Resistance, V	3 to 5
Potential, V	940 to 1000
Current, A, r-f	0.3 to 0.8
Number of discharge/s	60

NOTE 10 When parameter values are established, maintain them carefully. The variation of the power supply voltage shall not exceed 65 % and preferably should be held within 62 %.

Element	Wavelength, nm	Line Classification ^A	Possible Interference ^B
Aluminum	394.40	I	V, Mn, Mo, Ni
	308.22	I	V, Mn
Arsenic	197.20	I	Mo, W
	193.76	I	Mn
Boron	182.64	I	S, Mn, Mo
	182.59	I	W, Mn, Cu
Calcium	396.85	II	Nb
Carbon	193.09	I	Al
Chromium	298.92	II	Mn, V, Ni, Nb, Mo
	267.72	II	Mn, Mo, W
Cobalt	345.35	I	Cr, Mo
	228.62	II	Ni, Cr
Copper	327.40	I	Nb
	213.60	II	Mo, Cr
Iron (IS)	271.44	II	
	273.07	II	Co
Manganese	293.31	II	Cr, Mo, Ni
	255.86	II	Zr
Molybdenum	379.83	II	Mn
	277.54	I	Cu, V, Co, Mn
	386.41	I	V, Cr
Nickel	231.60	II	Co, Ti
	227.02	II	Nb, W
Niobium	319.50	II	Mo, Al, V
Nitrogen	149.26	I	Fe, Ti, Si, Mn, Cu, Ni and nitride forming elements such as Ti
			Mo
Phosphorus	178.29	I	Mo
Silicon	288.16	I	Mo, Cr, W
	251.61	I	Fe, V
Sulfur	180.73	I	Mn
Tin	189.99	II	Mn, Mo, Al
Titanium	337.28	II	Nb
	324.20	II	Nb
Vanadium	310.23	II	Fe, Mo, Nb, Ni
	311.07	II	Mn, Ti, Fe
Zirconium	343.82	II	W

^A The numerals I or II in the line classification column indicate that the line has been classified in a term array and definitely assigned to the normal atom (I) or to the singly ionized atom (II).

^B Interferences are dependent upon instrument design, spectrum line choices, and excitation conditions, and those listed require confirmation based upon specimens selected especially to demonstrate suspected interferences.

TABLE 2 Other Analytical Lines

Element	Wavelength, nm	Line Classification ^A	Possible Interference ^B
Arsenic	189.04	I	V, Cr
Carbon	165.81	I	
Copper	224.26	II	Ni
	324.75	I	Mn, Nb
Molybdenum	202.03	II	
	281.62	II	Mn
Silicon	212.415	II	Mo, Ni, V, Cu, Nb

^{7.6.2.2} The numerals I or II in the line classification column indicate that the line has been classified in a term array and definitely assigned to the normal atom (I) or to the singly ionized atom (II).

^{7.6.2.3} Interferences are dependent upon instrument design, dispersion, spectrum line choices, and excitation conditions, and those listed require confirmation based upon specimens selected especially to demonstrate suspected interferences.

Initiation Circuit The initiator circuit parameters shall be adequate to uniformly trigger the capacitor discharge. Nominal values found to be adequate are listed as follows:

Capacitance, μF 0.0025

Inductance, μ H	residual
Resistance, V	2.5
Peak voltage, V	18 000

11.1.3 *Other Electrical Parameters*—Excitation units, on which the precise parameters given in 11.1.1 and 11.1.2 are not available, may be used provided that it can be shown experimentally that equivalent precision and accuracy are obtained.

11.2 *Exposure Conditions* (Note 11)—Use the following exposure conditions:

Pre-Flush period, s	5 to 15
Preburn period, s	5 to 20
Exposure period, s	3 to 30

Argon flow (Note 12)	³ ft ³ /h	L/min
Flush	5 to 45	2.5 to 25
Preburn	5 to 45	2.5 to 25
Exposure	5 to 30	2.5 to 15

NOTE 11—Select preburn and exposure periods after a study of volatilization rates during specimen excitations. Once established, maintain the parameters consistently.

NOTE 12—A high-purity argon atmosphere is required at the analytical gap. Molecular gas impurities, nitrogen, oxygen, hydrocarbons, or water vapor, either in the gas system or from improperly prepared specimens should be minimized.

11.3 *Electrode System*—The specimen, electrically negative, serves as one electrode. The opposite electrode is a thoriated tungsten or silver rod, the tip of which has been sharpened to a 45 to 120° included angle cone. Use either a 3, 4, or 5-mm (60.1-mm) gap. Center the analytical gap on the optical axes of the spectrometer. Condition a fresh counter electrode with two to six excitations using the operating conditions in accordance with 11.1 and 11.2.

11.4 *Preliminary Calibration*—Excite a low- and a high-composition reference material and set the dynode potentials (photomultiplier sensitivity controls) for the internal standard line and each element line to obtain the desired voltages on the capacitors.

NOTE 13—The range of anode to cathode potentials for a given tube should be specified, that is 650 to 1000 V dc. If within the potential range the tube is either too sensitive or too insensitive for the element concentration range, select another photomultiplier. The potentials on the capacitors may be read directly, or a number of different readout systems may be employed which yield linear or logarithmic functions of the potentials and which may be displayed as relative numbers or as numbers calibrated directly in terms of percent.

12. Calibration, Standardization, and Verification

12.1 *Calibration*—Using the conditions given in 11.1-11.3, excite calibrants and potential standardants in a random sequence, bracketing these burns with excitations of any materials intended for use as verifiers. (A verifier may be used as a calibrant even though it is burned only as a verifier.) There shall be at least three calibrants for each element, spanning the required concentration range. Repeat with different random sequences at least two times. Using the averages of the data for each point, determine analytical curves as directed in Practices E 158 and E 305.

12.2 *Standardization*—Following the manufacturer's rec-

ommendations, standardize on an initial setup or anytime that it is known or suspected that readings have shifted. Make the necessary corrections either by adjusting the controls on the readout or by applying arithmetic corrections. Standardization will be done anytime verification indicates that readings have gone out of statistical control.

12.3 *Verification*—Verify that the instrument's standardization is valid immediately after each standardization, at the beginning of each shift, and as required in accordance with 12.3.2.

12.3.1 Analyze verifiers in accordance with Section 13. If results do not fall within the control limits established in 12.4, run another standardization or investigate why the instrument may be malfunctioning.

12.3.2 Repeat the verification at least every 4 h or if the instrument has been idle for more than 1 h. If readings are not in conformance, repeat the standardization.

12.4 *Quality Control*—Establish control limits in accordance with MNL 7,⁶ Practice E 1329, or other equivalent quality control procedure.

- Excitation and Radiation Measurements

Place the prepared surface of the specimen on the excitation stand so that excitation will impinge on an area at least 6 mm (1/4 in.) from the edge of the specimen.

NOTE 14—With certain spectrometers, a properly excited specimen usually exhibits a dark ring around the pitted sparked area. With that equipment, a smooth, white, texture burn without the characteristic dark ring indicates an improperly excited specimen. However, if boron nitride disks are used to mechanically restrict the excited area of the sample, a properly excited specimen may not exhibit a dark ring.

Excite specimens in duplicate and report the average of the duplicate results.

14. Calculation

14.1 Average the duplicate percent concentration readings obtained for each specimen from a direct readout system, or use the average scale or clock reading to obtain the concentrations of constituents from the curves or from tables which have been prepared to relate scale values and concentrations.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—Up to eight laboratories cooperated in performing this test method and obtained the statistical information summarized in Table 3. Additional data for within-laboratory variability of results, obtained by analyzing three specimens of one material in seven laboratories in accordance with source conditions specified in this method, are given in Table 4. Other specimens may exhibit greater or less variability using the same instrument and excitation conditions.

⁶ MNL 7 *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis*, ASTM Manual Series, ASTM, 6th ed., 1990.


E 415
TABLE 3 Statistical Information (Test Method E 415 Extension Study)

Element	Average Concentration	Number of Laboratories	Repeatability, R_1^A	Relative Repeatability, %	Reproducibility, R_2^A	Relative Reproducibility, %
Aluminum	0.0669	7	0.004	5.98	0.025	34.7
	0.0625	5	0.003	4.80	0.023	36.8
	0.0212	7	0.005	23.6	0.011	51.9
Antimony	0.0038	2	0.0007	18.4	0.001	26.3
Arsenic	0.0415	6	0.005	12.0	0.0272	65.6
	0.0144	6	0.007	48.6	0.0247	172.
Boron	0.0063	7	0.0007	11.1	0.0011	17.5
	0.0038	7	0.0007	18.4	0.0042	110.
	0.0006	7	0.0003	50.0	0.0009	150.
Carbon	1.054	7	0.053	5.03	0.108	10.2
	0.507	7	0.025	4.93	0.061	12.0
	0.033	7	0.025	75.8	0.042	127.
Chromium	1.574	7	0.043	3.38	0.176	13.8
	1.307	6	0.123	9.41	0.124	9.49
	2.128	7	0.057	2.68	0.232	10.9
	0.118	7	0.003	2.54	0.011	9.32
	0.093	7	0.003	3.23	0.008	8.60
Cobalt	0.157	4	0.008	5.10	0.057	36.3
	0.114	7	0.011	9.65	0.023	20.2
	0.0086	8	0.0007	8.14	0.004	46.5
Copper	0.435	7	0.025	5.75	0.039	8.97
	0.150	7	0.009	6.00	0.026	17.3
	0.054	7	0.008	14.8	0.022	40.7
Manganese	1.893	7	0.052	2.75	0.181	9.56
	1.494	7	0.052	3.48	0.141	9.44
	0.559	7	0.023	4.11	0.074	13.2
	0.316	7	0.013	4.11	0.051	16.1
Molybdenum	0.561	7	0.012	2.14	0.168	29.9
	0.325	7	0.008	2.46	0.037	11.4
	0.147	7	0.005	3.40	0.016	10.9
Nickel	4.796	6	0.275	5.73	0.691	14.1
	2.208	7	0.112	5.07	0.164	7.43
	0.180	6	0.012	6.67	0.022	12.2
	0.108	7	0.006	5.56	0.010	9.26
	0.0578	7	0.003	5.19	0.015	26.0
Niobium	0.076	7	0.007	9.21	0.010	13.2
	0.0084	5	0.003	35.7	0.018	214.
	0.0078	5	0.003	38.5	0.014	179.
Phosphorus	0.0775	7	0.005	6.45	0.017	21.9
	0.0379	7	0.003	7.92	0.012	31.7
	0.0124	7	0.003	24.2	0.009	72.6
Silicon	1.063	7	0.031	2.92	0.107	10.1
	0.391	7	0.015	3.84	0.099	25.3
	0.176	7	0.006	3.41	0.035	19.9
Sulfur	0.0505	7	0.006	11.9	0.015	29.7
	0.0209	7	0.005	28.9	0.007	33.5
	0.0146	7	0.002	13.7	0.005	41.1
Tin	0.040	7	0.002	5.00	0.024	60.0
	0.024	7	0.002	8.33	0.011	45.8
	0.0056	7	0.001	17.9	0.007	125.
Titanium	0.190	7	0.024	12.6	0.045	23.7
	0.029	7	0.004	13.8	0.017	58.6
	0.0019	7	0.0007	36.8	0.002	105.
Vanadium	0.279	7	0.007	2.51	0.041	14.7
	0.091	7	0.002	2.20	0.015	16.5
	0.0026	7	0.0002	7.69	0.002	76.9



E 415

TABLE 3 Continued

Element	Average Concentration	Number of Laboratories	Repeatability, R_1^A	Relative Repeatability, %	Reproducibility, R_2^A	Relative Reproducibility, %
Zirconium	0.0439	5	0.006	13.7	0.009	20.5
	0.0075	5	0.002	26.7	0.012	160.
	0.0025	5	0.001	40.0	0.008	320.

^A R_1 is equivalent to r , Practice E 1601; R_2 is equivalent to R , Practice E 1601.

TABLE 4 Variability of Results Within Individual Laboratories (NBS 1262)

Element NBS Value	Average Concentration, %	Laboratory	Standard Deviation, % ^A	Relative Standard Deviation, RSD % ^B	Element NBS Value	Average Concentration, %	Laboratory	Standard Deviation, % ^A	Relative Standard Deviation, RSD % ^B
Aluminum 0.095	0.087	1	0.0032	3.70	Molybdenum 0.068	0.068	1	0.0012	1.46
	0.0936	2	0.0047	5.03		0.0681	2	0.0040	5.91
	0.0823	3	0.0083	10.10		0.0663	3	0.00173	2.60
	0.0992	4	0.0030	3.01		0.069	4	0.00064	0.92
	0.0999	5	0.0019	1.90		0.068	5	0.0011	1.60
	0.095	6	0.0015	1.58		0.069	6	0.00068	0.98
	0.0899	7	0.0012	1.36		0.0645	7	0.0005	0.73
Antimony 0.012	0.0125	1	0.0018	14.40	Nickel 0.59	...	1	no value	no value
	no value	2	no value	no value		0.597	2	0.0078	1.31
	no value	3	no value	no value		0.560	3	0.0069	1.22
	no value	4	no value	no value		0.589	4	0.0022	0.36
	no value	5	no value	no value		0.606	5	0.0097	1.60
	0.0110	6	0.00031	2.85		0.589	6	0.00443	0.75
	no value	7	no value	no value		0.556	7	0.0027	0.49
Arsenic 0.076	0.060	1	0.0024	4.00	Niobium 0.29	0.290	1	0.0120	4.10
	no value	2	no value	no value		0.292	2	0.0108	3.69
	0.1085	3	0.0045	4.16		0.321	3	0.0098	3.06
	no value	4	no value	no value		0.292	4	0.0037	1.26
	0.0718	5	0.0029	4.00		0.289	5	0.0137	4.70
	0.0871	6	0.00243	2.79		0.283	6	0.0059	2.08
	0.0784	7	0.0021	2.64		0.2636	7	0.0042	1.58
Boron 0.0025	0.0026	1	0.00040	15.40	Phosphorus 0.042	0.0414	1	0.0022	5.30
	0.00174	2	0.00043	24.68		0.0355	2	0.00144	4.04
	0.0030	3	0.0003	10.13		0.0414	3	0.0012	2.85
	0.00257	4	0.00009	3.50		0.0394	4	0.00039	1.00
	0.00303	5	0.00014	4.60		0.040	5	0.0014	3.50
	0.00242	6	0.00007	2.89		0.0369	6	0.00063	1.72
	0.0028	7	0.0001	2.23		0.0342	7	0.0004	1.30
Carbon 0.16	0.160	1	0.0080	5.00	Silicon 0.39	0.403	1	0.0046	1.14
	0.164	2	0.0094	5.76		0.392	2	0.0058	1.49
	0.158	3	0.0046	2.92		0.393	3	0.0126	3.21
	0.162	4	0.0022	1.37		0.398	4	0.0030	0.75
	0.159	5	0.007	4.40		0.389	5	0.0059	1.50
	0.159	6	0.0037	2.29		0.437	6	0.0032	0.73
	0.162	7	0.0038	2.24					
Chromium 0.30	0.296	1	0.0048	1.62	Sulfur 0.038	0.0376	1	0.0020	5.30
	0.300	2	0.0038	1.28		0.0404	2	0.00239	5.94
	0.309	3	0.0039	1.26		0.0363	3	0.00118	2.85
	0.302	4	0.0015	0.49		0.0387	4	0.00103	2.65
	0.300	5	0.0032	1.10		0.0392	5	0.0014	3.50
	0.304	6	0.00220	0.72		0.0376	6	0.00132	3.51
	0.298	7	0.0020	0.68		0.0375	7	0.0014	3.78
Cobalt 0.30	0.299	1	0.0054	1.80	Tin 0.016	0.0164	1	0.00067	3.75
	0.302	2	0.0044	1.45		0.0157	2	0.00048	3.08
	0.252	3	0.0137	5.45		0.0207	3	0.00046	2.21
	0.304	4	0.0020	0.66		0.0178	4	0.00072	4.04
	no value	5	no value	no value		0.0158	5	0.0026	2.90
	0.299	6	0.00597	2.00		0.016	6	0.00044	2.77
	0.3038	7	0.0029	0.97		0.0175	7	0.0004	2.27
Copper	0.499	1	0.0116	2.32	Titanium	0.079	1	0.0043	5.44

TABLE 4 *Continued*

Element NBS Value	Average Concentration, %	Laboratory	Standard Deviation, % ^A	Relative Standard Deviation, RSD % ^B	Element NBS Value	Average Concentration, %	Laboratory	Standard Deviation, % ^A	Relative Standard Deviation, RSD % ^B
0.50	0.502	2	0.0098	1.95	0.084	0.089	2	0.0025	2.81
	0.494	3	0.0212	4.28		0.0899	3	0.000324	3.60
	0.505	4	0.00346	0.69		0.091	4	0.0011	1.17
	0.496	5	0.012	2.40		0.0882	5	0.0005	1.30
	0.499	6	0.00852	1.71		0.085	6	0.00135	1.59
	0.534	7	0.0099	1.85		0.1073	7	0.0017	1.55
Manganese	1.056	1	0.0092	0.87	Vanadium	0.040	1	0.00037	0.92
1.04	1.00	2	0.0081	0.81	0.041	0.0402	2	0.00054	1.34
	1.10	3	0.0143	1.29		0.0410	3	0.0010	2.43
	1.050	4	0.0072	0.69		0.0413	4	0.00022	0.52
	1.038	5	0.015	1.50		0.0387	5	0.0005	1.30
	1.016	6	0.0117	1.15		0.039	6	0.00036	0.92
	1.038	7	0.0087	0.84		0.0458	7	0.0004	0.78
Zirconium	0.192	1	0.0089	4.70	Zirconium	0.191	5	0.0081	4.20
0.19	no value	2	no value	no value	0.19	0.173	6	0.00495	2.863
	0.305	3	0.0177	5.81		0.1941	7	0.0070	3.611
	0.187	4	0.0048	2.58					

^A Standard Deviation (s) was calculated as follows:

$$s = \sqrt{\frac{\sum d^2}{N-1}}$$

where:

d = difference of determination from mean, and N = number of determinations.

^B Relative Standard Deviation (RSD) was calculated as follows:

$$\text{RSD} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

where:

s = standard deviation, and
 \bar{x} = average concentration, %.

15.1.1 *Precision for Calcium and Nitrogen*—Up to eight laboratories cooperated in performing this test method and obtained the precision information summarized in Table 5.⁷ An approximate value for the expected reproducibility index, R , in the range of 0 to 0.0030 % calcium can be calculated from the following equation in which C_a % is the expected calcium level:

$$R = 0.00048^2 \sqrt{1 - C_a} \% [m] P 5 0.30^2 \# \quad (1)$$

15.1.2 For nitrogen, the reproducibility index, R , has the approximate value of 0.0020 throughout the range of 0 to 0.015 % nitrogen.

NOTE 15—The interlaboratory test data summarized in Tables 5 and 6 has been evaluated in accordance with Practice E 1601.

Bias—At least three specimens that previously had been analyzed by chemical techniques in more than one laboratory were analyzed following the conditions of this test method. The data are given in Table 7 (Note 15).

15.2.1 *Bias for Calcium and Nitrogen*—The bias of this test method at certain concentration levels may be judged by comparing the accepted reference values with the arithmetic average obtained by interlaboratory testing (see Table 6).

16. Keywords

16.1 carbon steel; low-alloy steel; optical emission; spectrometric analysis

⁷ Supporting data is available from ASTM Headquarters. Request RR: E01-1022.



E 415

TABLE 5 Statistical Information for Calcium and Nitrogen

Test Material	Number of Laboratories	Found, %	Minimum SD (S_{M_i} , Practice E 1601)	Reproducibility SD (S_{R_i} , Practice E 1601)	Reproducibility Index (R , Practice E 1601)	R % <small>rel</small>
Calcium						
C	6	0.00020	0.000021	0.000175	0.00049	250
G	7	0.00036	0.000025	0.000181	0.00051	139
H	8	0.00106	0.000075	0.000210	0.00059	55.7
F	8	0.00118	0.000134	0.000249	0.00070	59.0
D	8	0.00149	0.000135	0.000231	0.00065	43.3
J	8	0.00186	0.000129	0.000298	0.00083	45.0
A	8	0.00201	0.000119	0.000218	0.00061	30.3
I	8	0.00207	0.000064	0.000181	0.00051	24.4
B	8	0.00267	0.000182	0.000328	0.00092	34.4
E	8	0.00288	0.000258	0.000436	0.00122	42.5
Nitrogen						
C	8	0.00125	0.000143	0.000781	0.00218	175
E	8	0.00400	0.000169	0.000787	0.00220	55.7
F	8	0.00478	0.000175	0.000779	0.00218	45.6
H	8	0.00509	0.000157	0.000684	0.00192	37.6
G	8	0.00751	0.000247	0.000715	0.00200	26.7
D	8	0.00817	0.000218	0.000650	0.00182	22.2
B	8	0.00977	0.000264	0.000587	0.00164	16.8
A	8	0.01289	0.000239	0.000603	0.00169	13.1
I	8	0.01364	0.000264	0.000813	0.00228	16.7

TABLE 6 Bias Information for Calcium and Nitrogen

Test Material	Assumed True Value, %	Average Spectrometer Value, %	Difference, %	Material Identification, Uncertainty or (SD)	Low Alloy Steel Description
Calcium					
C	0.00027	0.00020	-0.00007	BS CA4A 0.00004	chill-cast
G	0.0004	0.00036	-0.00004	BS CCS 1 (0.00005)	wrought
H	0.0011	0.00106	-0.00004	ST 06 (0.00013)	wrought
F	0.0014	0.00118	-0.00022	BS 58G (0.00019)	wrought
D	0.0016	0.00149	-0.00011	BS 54D (0.00015)	wrought
J	0.0021	0.00186	-0.00024	ST 08 (0.00014)	wrought
A	0.0018	0.00201	0.00021	BS CA1A (0.0003)	chill-cast
I	0.0022	0.00207	-0.00003	ST 07 (0.0002)	wrought
B	0.0029	0.00267	-0.00023	BS CA2A (0.0003)	chill-cast
E	0.0033	0.00288	-0.00042	BS CSN 2D (0.0003)	wrought
Nitrogen					
C	0.0011	0.00125	0.00015	BS 54D (0.0003)	wrought
E	0.0036	0.00400	0.00040	BS XAAS (0.00025)	wrought
F	0.0044	0.00478	0.00038	BS XCCS (0.00025)	wrought
H	0.0056	0.00509	-0.00051	BS XCCV (0.00024)	wrought
G	0.0074	0.00751	-0.00009	BS XCCT (0.0002)	wrought
D	0.0087	0.00817	-0.00053	BS 56G (0.0004)	wrought
B	0.0106	0.00977	-0.00083	BS CA4A (0.0007)	chill-cast
A	0.0135	0.01289	-0.00061	BS CA1A (0.00075)	chill-cast
I	0.0136	0.01364	0.00004	BS 46A (0.00038)	wrought



E 415

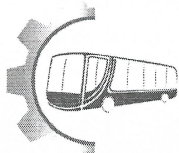
TABLE 7 Bias Data

Element	Assumed True Value, %	Average Spectrometer Value, %	Number of Laboratories	Deviation from Assumed True Value, %	Element	Assumed True Value, %	Average Spectrometer Value, %	Number of Laboratories	Deviation from Assumed True Value, %
Aluminum	0.04	0.038	4	0.00		0.35	0.34	5	-0.01
	0.058	0.062	4	+0.004		0.56	0.54	3	-0.02
Boron	0.007	0.006	7	-0.001	Niobium	0.023	0.024	2	+0.001
Carbon	0.073	0.072	5	-0.001	Phosphorus	0.10	0.11	2	+0.01
	0.22	0.21	5	-0.01		0.005	0.005	5	0.000
	0.50	0.51	7	+0.01		0.009	0.009	5	0.000
	0.67	0.66	5	-0.01		0.036	0.038	7	+0.002
Chromium	0.05	0.05	5	0.00	Silicon	0.046	0.042	5	-0.004
	0.08	0.09	7	+0.01		0.089	0.078	7	-0.011
	0.37	0.35	5	-0.02		0.024	0.029	3	+0.005
	0.85	0.85	3	0.00		0.18	0.18	7	0.00
Cobalt	0.12	0.11	7	-0.01	Sulfur	0.19	0.18	5	-0.01
	0.17	0.16	4	-0.01		0.35	0.36	5	+0.01
Copper	0.016	0.017	3	+0.001	Tin	0.40	0.39	7	-0.01
	0.056	0.054	7	-0.002		0.008	0.006	4	-0.002
	0.070	0.065	3	-0.005		0.032	0.028	5	-0.004
	0.101	0.098	3	-0.003		0.034	0.038	3	+0.004
Manganese	0.44	0.43	5	-0.01	Titanium	0.053	0.051	7	-0.002
	0.57	0.58	5	+0.01		0.004	0.005	5	+0.001
	0.98	0.94	5	-0.04		0.008	0.008	5	0.000
	1.43	1.49	7	+0.06		0.024	0.025	5	+0.001
Molybdenum	0.008	0.012	4	+0.004	Vanadium	0.028	0.024	7	-0.004
	0.10	0.10	4	0.00		0.044	0.040	7	-0.004
	0.14	0.15	7	+0.01		0.002	0.002	7	0.000
	0.33	0.33	7	0.00		0.027	0.029	7	+0.002
Nickel	0.034	0.038	5	+0.004		0.002	0.002	2	0.000
	0.10	0.11	7	+0.01		0.012	0.012	2	0.000
						0.135	0.138	2	+0.003
						0.27	0.28	7	+0.01

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).



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES METÁLICOS

INFORME DE RESULTADOS N°: 180445594520171212-ETM

DATOS GENERALES

N° de proforma: RM_2017_068

Empresa/Cientes. Sr. Marco Naranjo

RUC/C.I.: 1804455945

Ciudad: Ambato

Dirección: Parroquia Atahualpa

Teléfono: 0980353863

Correo: marconaranjo1090@gmail.com

Datos del ensayo:

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Rio de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM E8/E8M-16a: Métodos de prueba estándar para Prueba de tensión de materiales metálicos.

Tipo de ensayo: Cuantitativo.

Tipo de probeta: Cilíndrica

Longitud calibrada: 50 mm

Equipo utilizado: Maquina de ensayos universal para metales. Metro test 1500 KN.

Modelo: STH-1500 S/C

Serie: 8802M001

Velocidad de ensayo: 10 mm/min

Precarga: 5000 N

Designación del material: Fundición de Hierro Nodular con adición de cobre.

Fecha de Inicio de Ensayo: 07/03/2018 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 10/04/2018.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales metálicos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Descripción	% de cobre	Probetas a Ensayar
1	180445594520171212-ETM 01	Fe Nodular	0.1% de Cu	6
2	180445594520171212-ETM 02	Fe Nodular	0% de Cu	6
3	180445594520171212-ETM 03	Fe Nodular	0.2% de Cu	6
4	180445594520171212-ETM 04	Fe Nodular	0.3% de Cu	6
5	180445594520171212-ETM 05	Fe Nodular	0.4% de Cu	6
6	180445594520171212-ETM 06	Fe Nodular	0.5% de Cu	6
Total				36

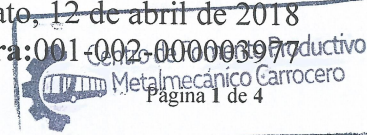
Observaciones: La fabricación de las probetas y su configuración, están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza	Ing. Esteban López E. MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 12 de abril de 2018

N°. Factura: 001-002-000003977





Resultados:

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia a la tracción	Resistencia de rotura (MPa)	Límite fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Rotura dentro de la zona calibrada
				mm	Diámetro										
1	180445594520171212-ETM 01-1	21,7	59,5	12,98	50	57,11	82800,01	82350,01	16800,00	625,73	622,33	255,45	14,22	SI	
2	180445594520171212-ETM 01-2	21,7	59,5	12,88	50	56,81	89950,01	89950,01	16500,00	690,36	690,36	283,37	13,62	NO	
3	180445594520171212-ETM 01-3	21,7	59,5	12,41	50	56,32	96250,01	96150,01	16850,00	795,73	794,90	326,29	12,64	NO	
4	180445594520171212-ETM 01-4	21,7	59,5	12,86	50	56,79	90250,01	89450,01	17000,00	694,82	688,66	282,68	13,58	NO	
5	180445594520171212-ETM 01-5	21,7	59,5	12,79	50	56,82	88350,01	87600,01	17000,00	687,66	681,82	279,87	13,64	SI	
6	180445594520171212-ETM 01-6	21,7	59,5	12,33	50	56,45	91550,01	91550,01	16750,00	766,73	766,73	314,72	12,90	NO	
Promedio \bar{X}							89858,34	89508,34	16816,67	710,17	707,47	290,40	13,43		
Desviación estándar S_{n-1}							4381,14	4546,69	186,19	61,29	62,78	25,77	0,57		
Coeficiente de variación CV							4,88	5,08	1,11	8,63	8,87	8,87	4,25		

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia a la tracción	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Rotura dentro de la zona calibrada
				mm	Diámetro										
7	180445594520171212-ETM 02-1	21,4	52,8	12,77	50	57,55	60350,01	60000,0	16450,00	471,20	468,47	222,30	15,10	SI	
8	180445594520171212-ETM 02-2	21,4	52,8	12,59	50	58,02	47951,01	47601,0	16450,00	385,17	382,36	181,44	16,04	SI	
9	180445594520171212-ETM 02-3	21,4	52,8	12,76	50	56,15	60330,01	59980,0	16450,00	471,78	469,04	222,57	12,30	NO	
10	180445594520171212-ETM 02-4	21,4	52,8	12,63	50	57,81	56358,01	56008,0	16500,00	449,84	447,05	212,14	15,62	SI	
11	180445594520171212-ETM 02-5	21,4	52,8	12,83	50	57,98	52370,01	52020,0	16700,00	405,08	402,37	190,94	15,96	NO	
12	180445594520171212-ETM 02-6	21,4	52,8	12,71	50	56,23	55357,01	55007,0	16550,00	436,31	433,55	205,73	12,46	SI	
Promedio \bar{X}							55452,68	55102,6	16516,67	436,56	433,81	205,85	14,58		
Desviación estándar S_{n-1}							4782,86	4782,86	98,32	35,35	35,36	16,78	1,74		
Coeficiente de variación CV							8,63	8,68	0,60	8,10	8,15	8,15	11,91		

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES METÁLICOS

Código: RG-RM-008
Fecha de Elaboración: 08-03-2017
Fecha de última aprobación: 16-05-2017

Revisión: 1



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocerro

Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Prueba	Identificación de prueba	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones			Fuerza Máxima	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia a la tracción	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Retorna dentro de la zona calibrada
				mm	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)								
13	180445594520171212-ETM 03-1	21,6	50,9	12,33	50	56,33	94500,01	94500,01	16450,00	791,43	791,43	348,84	12,66	SI
14	180445594520171212-ETM 03-2	21,6	50,9	12,21	50	56,75	82250,01	82100,01	16500,00	702,45	701,17	309,05	12,50	NO
15	180445594520171212-ETM 03-3	21,6	50,9	12,55	50	56,44	93300,01	95250,01	16350,00	770,40	769,99	339,39	12,88	NO
16	180445594520171212-ETM 03-4	21,6	50,9	12,44	50	56,55	90600,01	90450,01	16500,00	745,41	744,18	328,01	12,10	SI
17	180445594520171212-ETM 03-5	21,6	50,9	12,56	50	56,66	89650,01	89550,01	16500,00	723,57	722,76	318,57	13,32	NO
18	180445594520171212-ETM 03-6	21,6	50,9	12,56	50	56,74	87450,01	87250,01	16500,00	705,81	704,20	310,39	13,48	SI
				Promedio X			89958,34	89850,01	16466,67	739,85	738,96	325,71	12,82	
				Desviación estándar S_{n-1}			4803,69	4859,12	60,55	35,91	36,45	16,07	0,52	
				Coeficiente de variación CV			5,34	5,41	0,37	4,85	4,93	4,93	4,03	

Prueba	Identificación de prueba	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones			Fuerza Máxima	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia a la tracción	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Retorna dentro de la zona calibrada
				mm	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)								
19	180445594520171212-ETM 04-1	21,1	63,9	12,43	50	52,66	93700,01	93700,01	16800,00	796,32	772,16	391,54	8,32	NO
20	180445594520171212-ETM 04-2	21,1	63,9	12,41	50	52,65	96650,01	96650,01	16600,00	785,01	799,04	405,17	7,30	SI
21	180445594520171212-ETM 04-3	21,1	63,9	12,78	50	51,56	88300,01	87900,01	16550,00	668,57	685,23	347,46	8,12	NO
22	180445594520171212-ETM 04-4	21,1	63,9	12,96	50	53,35	103100,02	102850,02	16750,00	731,75	779,66	395,34	8,70	SI
23	180445594520171212-ETM 04-5	21,1	63,9	12,82	50	54,01	100450,01	100450,01	17350,00	788,43	778,19	394,60	8,02	SI
24	180445594520171212-ETM 04-6	21,1	63,9	12,23	50	53,57	92800,01	92800,01	16700,00	792,02	789,96	400,57	7,14	SI
				Promedio X			95833,35	95725,01	16791,67	760,35	767,37	389,11	7,93	
				Desviación estándar S_{n-1}			5390,52	5437,53	288,82	50,86	41,35	20,97	0,60	
				Coeficiente de variación CV			5,62	5,68	1,72	6,69	5,39	5,39	7,58	

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES METÁLICOS

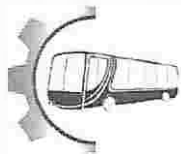
Código: RG-RM-008
Fecha de Elaboración: 08-03-2017
Fecha de última aprobación: 16-05-2017
Revisión: 1



Prueba	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia a la tracción	Resistencia de rotura (MPa)	Limite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Rotura dentro de la zona calibrada
				mm	Diametro										
25	180445594520171212-ETM 05-1	21,4	57,0	12,78	50	52,05	102150,01	102150,01	16800,00	806,07	796,32	668,31	4,10	SI	
26	180445594520171212-ETM 05-2	21,4	57,0	12,63	50	52,87	98350,01	98200,01	16750,00	787,94	783,82	654,91	5,74	SI	
27	180445594520171212-ETM 05-3	21,4	57,0	12,82	50	52,99	86360,01	86300,01	16800,00	761,10	668,57	517,03	5,98	NO	
28	180445594520171212-ETM 05-4	21,4	57,0	12,50	50	52,28	89800,01	89800,01	17200,00	712,31	731,75	591,85	4,56	SI	
29	180445594520171212-ETM 05-5	21,4	57,0	12,49	50	53,45	96600,01	96600,01	17450,00	741,26	788,43	658,96	6,90	SI	
30	180445594520171212-ETM 05-6	21,4	57,0	12,59	50	53,2	98600,01	98600,01	16700,00	764,65	792,02	663,21	6,40	NO	
Promedio \bar{X}															
								95300,01	95275,01	16950,00	762,22	760,15	625,71	5,61	
								6000,92	5985,96	303,32	33,23	50,75	60,23	1,08	
								6,30	6,28	1,79	4,36	6,68	9,63	19,23	
								Desviación estándar S_{n-1}							
								Coeficiente de variación CV							

Prueba	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia a la tracción	Resistencia de rotura (MPa)	Limite de fluencia (MPa)	% Elongación (Calculado)	Rotura dentro de la zona calibrada
				mm	Diametro										
31	180445594520171212-ETM 06-1	24,0	49,8	12,59	50	51,4	100350,01	100350,01	16800,00	772,16	806,07	679,85	2,80	SI	
32	180445594520171212-ETM 06-2	24,0	49,8	12,68	50	52,27	99500,01	99500,01	16600,00	799,04	787,94	658,38	4,54	NO	
33	180445594520171212-ETM 06-3	24,0	49,8	12,57	50	51,3	94450,01	94250,01	16600,00	688,35	759,49	624,69	2,60	NO	
34	180445594520171212-ETM 06-4	24,0	49,8	13,69	50	52,04	104850,02	104850,01	16550,00	781,55	712,31	568,83	4,08	NO	
35	180445594520171212-ETM 06-5	24,0	49,8	13,06	50	51,57	99300,01	99300,001	16650,00	778,19	741,26	603,11	3,14	NO	
36	180445594520171212-ETM 06-6	24,0	49,8	12,34	50	52,35	91450,01	91450,01	16750,00	789,96	764,65	630,80	4,70	NO	
Promedio \bar{X}															
								98316,68	98283,34	16658,33	768,21	761,95	627,61	3,64	
								4717,81	4751,17	97,04	40,24	33,25	39,37	0,91	
								Coeficiente de variación CV							

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES METÁLICOS



LABORATORIO DE ANÁLISIS METALOGRAFICO
ENSAYO DE DUREZA BRINELL

INFORME DE RESULTADOS N°: 180445594520180709-EDB

DATOS GENERALES

N° de proforma: AM_2018_013.
Empresa/ Cliente: Marco Antonio Naranjo Tirado.
RUC/C.I.: 1804455945 **Ciudad:** Ambato.
Dirección: Parroquia Atahualpa.
E-mail: marconaranjo1090@gmail.com **Teléfono:** 0980353863.

DATOS DEL ENSAYO

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis Metalográfico.
Dirección: Ambato/Catiglata, Río de Janeiro y Toronto.
Método de ensayo: NTE INEN ISO 6506-1. Materiales metálicos- Ensayo de dureza Brinell-
 Parte 1: Método de ensayo.
Equipo utilizado: Durómetro ERNST. **Modelo:** NR3 DR. **Serie:** 4651.
Tipo de ensayo: Cuantitativo. **Tiempo de duración de la fuerza:** 10 s.
Ultima verificación de máquina: RG-AM-003.
Patrón utilizado: PR4. E-Cu-10mm 92,2 HB/30 ± 5.
Verificación de la máquina por medio de patrón: 88 HB/30 (ACEPTABLE).
Fecha de Inicio de Ensayo: 05/07/2018 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 05/07/2018.
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en
 probetas de *Fundición de Hierro Nodular con adición de 0.2% de Cobre*. La recepción de
 las muestras se efectuó en el Laboratorio de análisis metalográfico del Centro de Fomento
 Productivo Metalmeccánico Carrocero.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación del grupo	Material	Descripción	Probetas a Ensayar
1	180445594520180709-EDB 01	Fe Nodular	Adición de 0.2% de Cu.	1
2	180445594520180709-EDB 02			1
			Total	2

Observaciones: Ninguna

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.

Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



Lugar y fecha de emisión de Informe: Ambato, 12 de julio de 2018.
N° Factura: 001-002-000005227



Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dureza BRINELL	
1	180445594520180709-EDB 01	19,4	62,2	Medición 1	199
				Medición 2	202
				Medición 3	202
				Medición 4	204
				Medición 5	203
Promedio x				202	
Desviación estándar S_{n-1}				1,87	
Coeficiente de variación CV				0,93	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dureza BRINELL	
2	180445594520180709-EDB 02	19,4	62,2	Medición 1	207
				Medición 2	210
				Medición 3	207
				Medición 4	204
				Medición 5	203
Promedio x				206	
Desviación estándar S_{n-1}				2,77	
Coeficiente de variación CV				1,35	

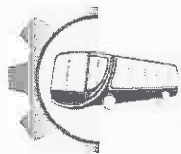
Observaciones del ensayo: Ninguna

Código: RG-AM1-004

Fecha de Elaboración: 12-08-2017

Fecha de última aprobación: 06-06-2018

Revisión: 2



LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. ESPECTROMETRÍA POR
FLUORESCENCIA DE RAYOS X

INFORME DE RESULTADOS N°: 180445594520180709-ERX

DATOS GENERALES

N° de proforma: EN_2018_009

Designación de material: Fundición de Hierro Nodular con adición de 0.2% de Cobre.

Empresa/ Cliente: Marco Antonio Naranjo Tirado.

RUC/C.I.: 1804455945

Dirección: Parroquia Atahualpa.

Ciudad: Ambato.

Teléfono: 0980353863.

Correo: marconaranjo1090@gmail.com

Fecha de Inicio de Ensayo: 05 de julio de 2018.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en las muestras de: *Fundición de Hierro Nodular con adición de 0.2% de Cobre*. El material fue recibido en el Laboratorio de Ensayos No destructivos (END) del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

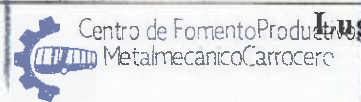
OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Material	Descripción	Cantidad
1	180445594520180709-ERX 01	Fe Nodular	Adición de 0.2% de Cu.	1
2	180445594520180709-EDB 02			1
			Total	2

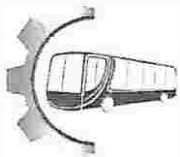
Observaciones: Ninguna

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Esteban López E. MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



Lugar y fecha de emisión de Informe: Ambato, 12 de julio de 2018.

N° Factura: 001-002-000005226.



VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Lugar de Ejecución de la verificación: Laboratorio de Ensayos No Destructivos (END)

Dirección: Ambato/Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto.

Fecha de verificación: 05 de julio de 2018.

Realizado por: Ing. Fernando Galarza

Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828

Patrón de calibración: Acero inoxidable 316. OLYMPUS

Serie: 781-419-3900 Analytical Instruments

Código de identificación del patrón de verificación: Waltham, MA 02453

Método de utilizado: Comparación por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED) de Materiales

Resultado de la Verificación: Aceptada

Hora: 10 horas 28 minutos

Temperatura del ensayo: 21,5 °C

Conteos por segundo: 36702

Resolución (EV): 146

Ver: Anexo 1. 07/05/18 #1

MÉTODO DE ENSAYO

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Ensayos No Destructivos (END).

Dirección: Ambato/Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto.

Código del Informe: 180445594520180709-ERX

Fecha de Finalización de Ensayo: 05 de julio de 2018.

Tipo de ensayo: Cuantitativo.

Método de ensayo: ASTM E1085 2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

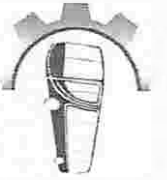
Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828

Temperatura del ensayo: 21,5° C

Energía: 40 keV

Precisión: 0,01

Corriente de funcionamiento: 0.2 mA



Resultados del ensayo:

COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF

Probeta	Elementos						Evidencia
	Fe	Mn	Cu	Cr	Zr		
180445594520180709-ERX 01	% Contenido	99,19	0,55	0,018	0,07	0,008	Anexo 2. 07/05/18 #4
	+/- Error	0,03	0,02	0,02	0,01	0,002	

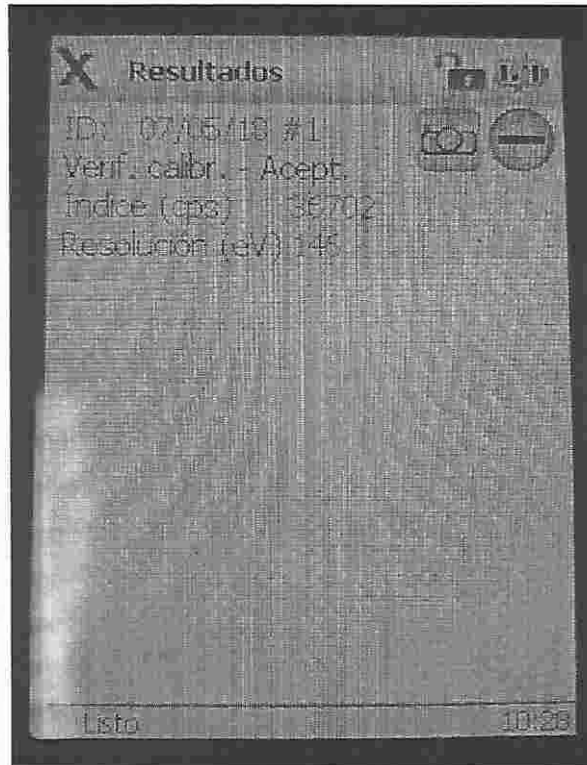
Probeta	Elementos						Evidencia
	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Mo	
180445594520180709-ERX 02	% Contenido	98,95	0,57	0,018	0,18	0,10	Anexo 3. 07/05/18 #5
	+/- Error	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02	

Nota: El ensayo se desarrolló y ejecuto sin observaciones.

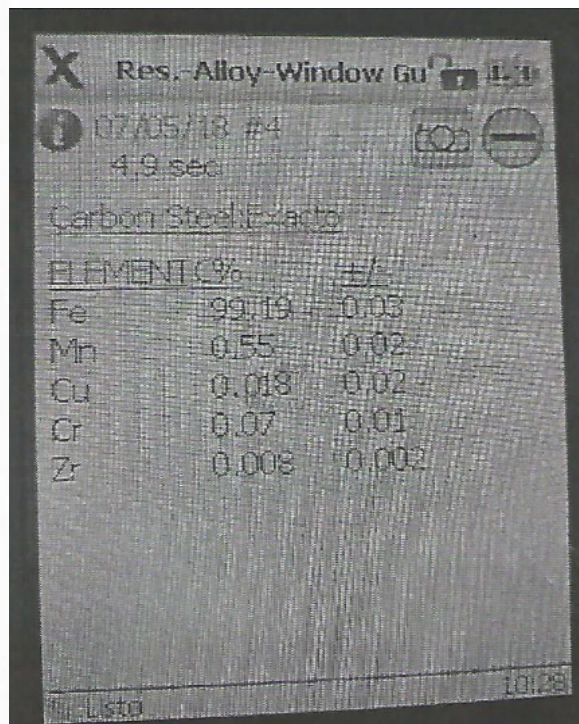


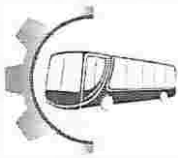
Anexos.

Anexo 1. 07/05/18 #1



Anexo 2. 07/05/18 #4





Anexo 3. 07/05/18 #5

ELEMENTO	%	+/-
Fe	98.95	0.04
Mn	0.57	0.03
Cu	0.018	0.02
Cr	0.18	0.01
Ni	0.10	0.02
Mo	0.022	0.002

ANEXO I

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA <i>LABORATORIO – INGENIERÍA MECÁNICA</i>			
ENSAYO MICROESTRUCTURAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:		De laboratorio		Ensayo No: 03	
Identificación del componente de estudio:		HIERRO FUNDIDO NODULAR			
Solicitado por:		Egdo. Marco Antonio Naranjo		Fecha: 16 de julio de 2018	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Metalografía – FICVI-IM			
Realizado por:		Egdo. Eugenio Martínez		Técnico Laboratorio: Ing. Sebastián Villegas	
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Equipo:		SEM		Marca: TESCAN	
Voltaje:		30.0 KV		Modelo: VEGA 3	
		HV		LV	
		X		Número de muestras: 4	
RESULTADOS					
<p>Las probetas analizadas nos muestran que se trata de una fractura frágil que es aquella que ocurre antes o durante el momento en el que se presenta una deformación plástica. Este tipo de fractura se presenta principalmente en materiales no cristalinos, en presencia de temperaturas muy bajas y en la aplicación de esfuerzos muy elevados.</p>					
FOTOGRAFÍAS					

Las imágenes obtenidas están comparadas con Metals Handbook : vol. 9 fractography and atlas of fractographs a 96x, 950x y 5000x.



Fig.1

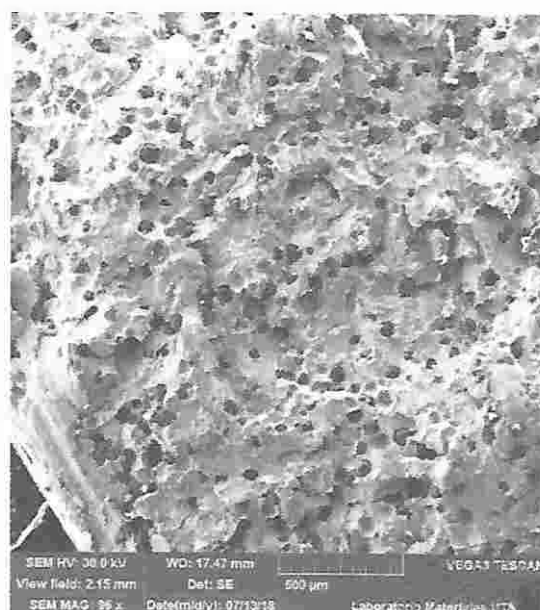


Fig. 2



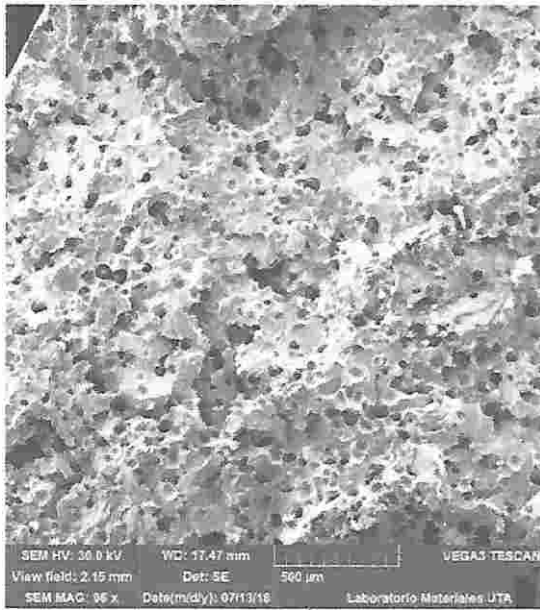


Fig. 3

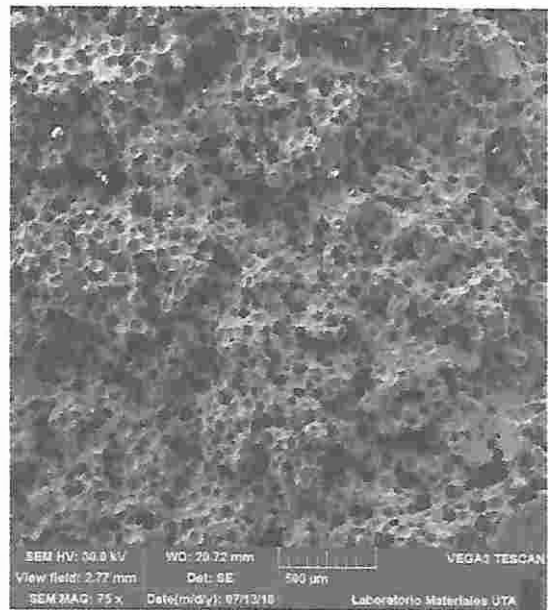


Fig. 4

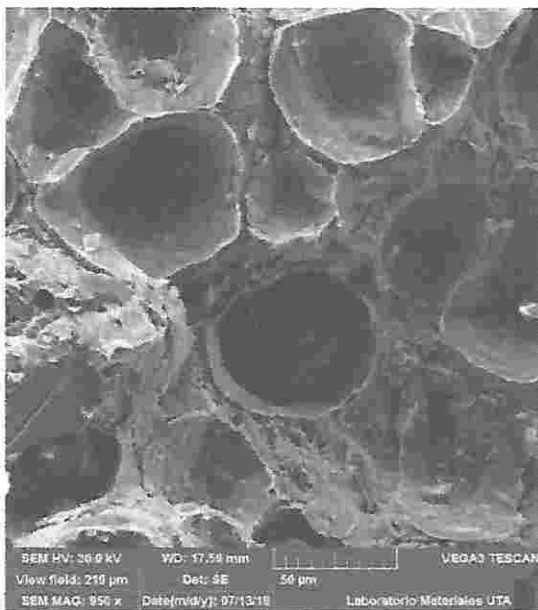


Fig. 5

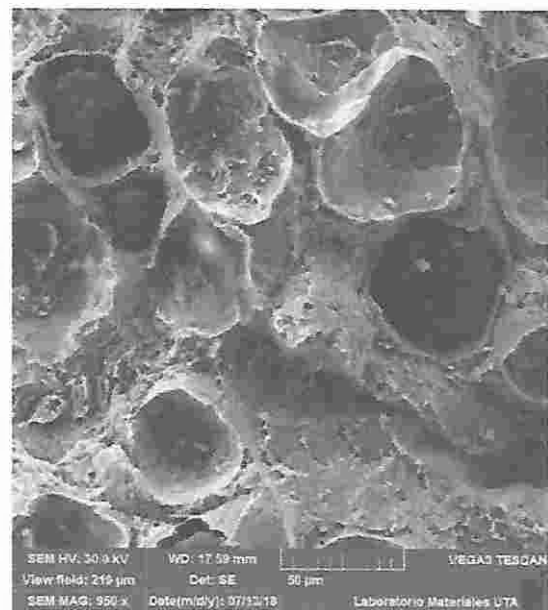


Fig. 6





Fig. 7

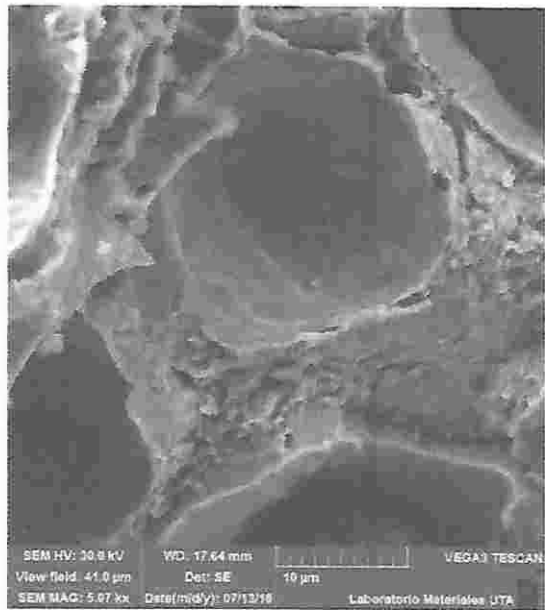


Fig. 8



Fig. 9



Fig.10





Fig.11

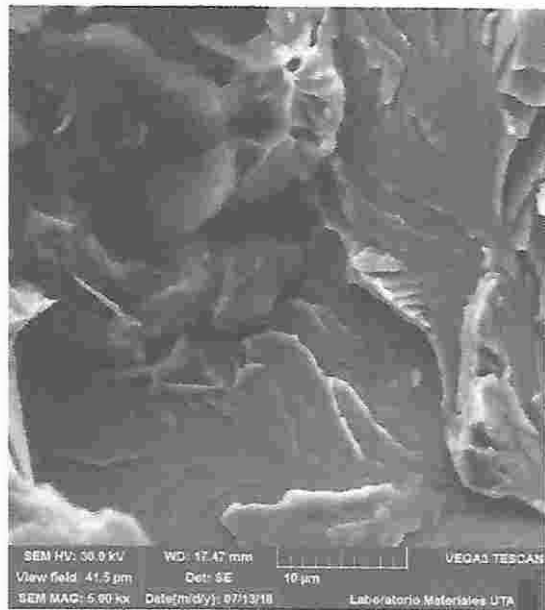


Fig.12



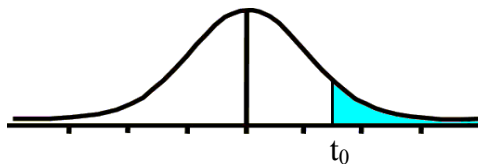
Egdo. Eugenio Martínez
AUXILIAR LAB. METALOGRAFÍA



Ing. Sebastián Villegas S.
TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO J

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758