



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 DE LAS MICROALEACIONES (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033LA) EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR (NTE INEN 2499-2009) PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, EN LA EMPRESA FUNDI LASER.”

AUTOR: Villagran Ortiz Jairo Fabricio

TUTOR: Ing. Mg. Paredes Salinas Juan Gilberto

AMBATO - ECUADOR

Octubre - 2020

CERTIFICACION

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“INFLUENCIA DE LAS MICROALEACIONES (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033LA) EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR (NTE INEN 2499-2009) PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, EN LA EMPRESA FUNDI LASER”** elaborado por el Sr. Jairo Fabricio Villagran Ortiz, portador de la cédula de ciudadanía: 1804726352, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Octubre 2020



Ing. Mg Juan Gilberto Paredes Salinas

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jairo Fabricio Villagran Ortiz, con C.I. 1804726352 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“INFLUENCIA DE LAS MICROALEACIONES (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033LA) EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR (NTE INEN 2499-2009) PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, EN LA EMPRESA FUNDI LASER.”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Octubre 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jairo Villagran', with a large, stylized flourish extending from the end of the signature.

Sr. Jairo Fabricio Villagran Ortiz

CI. 1804726352

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, que agá de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

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

Ambato, Octubre 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jairo Villagran", enclosed within a large, stylized blue scribble or flourish.

Sr. Jairo Fabricio Villagran Ortiz

CI. 1804726352

AUTOR

APROBACION TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Jairo Fabricio Villagran Ortiz de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “INFLUENCIA DE LAS MICROALEACIONES (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033LA) EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR (NTE INEN 2499-2009) PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, EN LA EMPRESA FUNDI LASER”.

Ambato, Octubre 2020.

Para constancia firman:



Ing. Mg. Arroba Arroba Cesar Hernan

Miembro del Tribunal



Ing. Mg. Nuñez Nuñez Diego Fernando

Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por ser la luz que guía mi camino por brindarme sabiduría y entendimiento. A ti mami Estela por siempre apoyarme, enseñarme a ser una persona de bien, humilde y perseverante para alcanzar mis metas. A mi hermano Erick con quien he compartido alegrías y tristezas de mi vida, se los dedico a ustedes porque son lo más importante en mi vida, que con su apoyo y cariño siempre seguiré adelante.

A todas las personas que Dios puso en mi camino, que me apoyaron y confiaron en mí y de quienes recibí lo mejor.

AGRADECIMIENTO

A mi madre por todo el sacrificio que realizo día a día para que no me falte nada a lo largo de mi carrera universitaria, por confiar en mí con todas sus fuerzas y por alentarme siempre. Gracias por tu amor y apoyo incondicional.

A mis tíos Diógenes y Gladis, que me apoyaron en momentos difíciles de mi vida y en especial a mi primo Diego por ser como un hermano mayor para mí y siempre aconsejarme lo mejor.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica, que además de impartir sus conocimientos, nos dieron lecciones de vida para crecer personal y profesionalmente, en especial al Ing. Juan Paredes por brindarme su tiempo, conocimientos y guía para ayudarme a culminar con esta investigación.

Un agradecimiento especial al Ing. Patricio Pérez y la Lic. Norma Tirado quienes me permitieron desarrollar mi tema de investigación y formar parte de su empresa. Gracias por su tiempo, paciencia y confianza.

Finalmente, agradezco a cada uno de mis amigos con quienes compartí momentos inolvidables de mi vida universitaria, dentro y fuera de las aulas.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACION	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACION TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
SUMMARY	xv
CAPITULO I.- MARCO TEORICO	1
1.1. Tema del trabajo experimental.....	1
1.2. Antecedentes investigativos.....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Marco teórico	4
1.5. Hipótesis	14
CAPITULO II.- METODOLOGÍA	15
2.1. Materiales.....	15
2.2. Métodos	15
2.3. Técnicas	16
2.4. Población y muestra	16
2.5. Operacionalización de variables	17
2.6. Recolección de información	18
2.7. Procesamiento y análisis.....	19
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1. Proceso de análisis de resultados	20
3.2. Determinación de porcentaje de Liga SNAM MG 9011 y SNAM MG9033LA	21

3.3. Parámetros de fundición	22
3.4. Obtención de probetas para ensayo de tracción	22
3.5. Tabulación y recolección de datos de ensayos de tracción.....	24
3.6. Análisis de resultados	37
3.7. Ensayo de espectrometría	44
3.8. Ensayo de dureza.....	50
3.9. Ensayo de metalografía.....	64
3.10. Verificación de la hipótesis.....	76
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
4.1. Conclusiones	86
4.2. Recomendaciones	88
Bibliografía.....	89
Anexos	92

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama binario hierro – carbono	5
Figura 2. Relación diametro/altura de una cuchara adecuada para el metodo por trasiego en cuchara abierta. El porcillo del fondo facilita el tratamiento sandwich....	8
Figura 3. Maquina universal para ensayos de tracción.	10
Figura 4. Microestructura fundicion nodular y gris	13
Figura 5. Bloque de quilla para probetas de ensayos (longitud= 152mm)	22
Figura 6. Modelado de bloque de quilla para obtención de probetas	23
Figura 7. Bloque de quilla para probetas de ensayos (longitud= 152mm)	23
Figura 8. Bloque de quilla para probetas de ensayos (longitud= 152mm)	24
Figura 9. Bloque de quilla para probetas de ensayos (longitud= 152mm)	24
Figura 10. Efectos 1.1% liga SNAM MG9033LA.	33
Figura 11. Obtención de muestras	44
Figura 12. Preparación previa al uso del espectrómetro	45
Figura 13. Calibración del espectrómetro	45
Figura 14. Resultados obtenidos a partir de software del equipo espectrométrico. ..	46
Figura 15. Preparación previa del durómetro Laizhou Lyric	50
Figura 16. Colocación de muestra y aplicaciones carga.	50
Figura 17. Obtencion de huella del identador en probetas.....	51
Figura 18. Obtención de dimensiones de la huella del identador para cálculo de dureza Brinell.....	51
Figura 19. Preparación y obtención de probetas.	64
Figura 20. Preparacion de superficies de probetas.	64
Figura 21. Ataque quimico de probetas con Nital 2.	65
Figura 22. Observación de microestructura en microscopio.....	65
Figura 23. Obtencion de imágenes de microestructura mediante softwate.....	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de composición química para hierros fundidos típicos sin alear	5
Tabla 2. Composición química SNAM MG9033LA	7
Tabla 3. Composición química SNAM MG9033LA	7
Tabla 4. Requerimientos de tensión NTE INEN 2499:2009	9
Tabla 5. Probeta de tracción normalizada	9
Tabla 6. Características mecánicas hierro nodular norma ASTM A-536	11
Tabla 7. Técnicas de ensayo de dureza	11
Tabla 8. Tamaño de la muestra de investigación.....	17
Tabla 9. Variable independiente.	17
Tabla 10. Variable dependiente.	18
Tabla 11. Composición – Número de probetas. Configuración desechada.	21
Tabla 12. Composición – Número de probetas. Configuración usada.....	21
Tabla 13. Resistencia a la tracción (1,1% liga SNAM MG9011; 330 kg Acero; 130 Retorno).....	25
Tabla 14. Resistencia a la tracción (1,3% liga SNAM MG9011; 300 kg Acero; 160 Retorno).....	27
Tabla 15. Resistencia a la tracción (1,5% liga SNAM MG9011; 360 kg Acero; 100 Retorno).....	29
Tabla 16. Resistencia a la tracción (1,7% liga SNAM MG9011; 300 kg Acero; 160 Retorno).....	31
Tabla 17. Determinación porcentaje de liga SNAM MG9033LA.....	33
Tabla 18. Resistencia a la tracción (0,77% liga SNAM MG9033LA; 330 kg Acero; 130 Retorno).....	34
Tabla 19. Resumen ensayos de tracción 1.1% a 1.7% liga SNAM MG9011 y 0.77% liga SNAM MG9033LA.	37
Tabla 20. Promedios resultados ensayos de tracción.....	38
Tabla 21. Ponderación resultados límite de fluencia, resistencia a la tracción y porcentaje de elongación.....	42
Tabla 22. Parámetros del grado 65-45-12 Norma NTE INEN 2499:2009 y grupos 1.1% liga SNAM MG9011 Y 0.77% SNAM MG9033LA.....	43
Tabla 23. Espectrometría 1.1% liga SNAM MG9011 (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser).....	47

Tabla 24. Espectrometría 0.77% liga SNAM MG9033LA (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser).....	48
Tabla 25. Dureza Brinell 1.1% liga SNAM MG9011 (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser).....	52
Tabla 26. Dureza Brinell 1.3% liga SNAM MG9011 (300 kg Acero; 160 Retorno Fundi laser).....	54
Tabla 27. Dureza Brinell 1.5% liga SNAM MG9011 (360 kg Acero; 100 Retorno Fundi laser).....	56
Tabla 28. Dureza Brinell 1.7% liga SNAM MG9011 (300 kg Acero; 160 Retorno Fundi laser).....	58
Tabla 29. Dureza Brinell 0.77% liga SNAM MG9033LA (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser).....	60
Tabla 30. Resultados promedios ensayo de dureza.	63
Tabla 31. Metalografía 1.1% liga SNAM MG9011 (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser).....	66
Tabla 32. Metalografía 1.3% liga SNAM MG9011 (300 kg Acero; 160 Retorno Fundi laser).....	68
Tabla 33. Metalografía 1.5% liga SNAM MG9011 (360 kg Acero; 100 Retorno Fundi laser).....	70
Tabla 34. Metalografía 1.7% liga SNAM MG9011 (300 kg Acero; 160 Retorno Fundi laser).....	72
Tabla 35. Metalografía 0.77% liga SNAM MG9033LA (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser).....	74
Tabla 36. Datos base para la verificación de hipótesis de resistencia a la tracción...	78
Tabla 37. Verificación de tcalculado para resistencia a la tracción.....	79
Tabla 38. Datos base para la verificación de hipótesis de límite a la fluencia.	80
Tabla 39. Verificación de tcalculado para límite de fluencia.	81
Tabla 40. Datos base para la verificación de hipótesis de dureza.	82
Tabla 41. Verificación de tcalculado para dureza Brinell.	84
Tabla 42. Datos base para la verificación de hipótesis del porcentaje de elongación.	85

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Diagrama de flujo para el estudio del comportamiento mecánico del hierro nodular.	20
Diagrama 2. Comparación límite de fluencia SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA	38
Diagrama 3. Comparación resistencia a la tracción SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA	39
Diagrama 4. Comparación % Elongación SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA.	39
Diagrama 5. Control de resultados límite fluencia	40
Diagrama 6. Control de resultados resistencia a la tracción.	41
Diagrama 7. Control de resultados porcentaje de elongación.....	41
Diagrama 8. Comparación de propiedades entre grupos SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA	44
Diagrama 9. Grafica T- Student. Resistencia a la tracción	79
Diagrama 10. Grafica T- Student. Límite de fluencia	81
Diagrama 11. Grafica T- Student. Dureza Brinell.....	83
Diagrama 12. Grafica T- Student. Porcentaje de elongación.....	86

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo experimental se modelaron, fundieron y mecanizaron las probetas de hierro nodular con porcentajes de 1.1, 1.3, 1.5 y 1.7 por ciento SNAM MG9011 y 0.77 por ciento SNAM MG9033LA para realizar el ensayo de tracción bajo la norma ASTM E-8 y NTE INEN-ISO 6892-1 y ensayos de dureza bajo la norma ASTM E-10, una vez evaluados los resultados se llegó a encasillar en al grado 65-45-12 a los grupos de 1.1 por ciento SNAM MG9011 y 0.77 por ciento SNAM MG9033LA.

Se realizó ensayos espectrometría en los grupos 1.1 por ciento SNAM MG9011 y 0.77 por ciento SNAM MG9033LA, para verificar su composición química bajo los parámetros establecidos en diferentes bibliografías.

Se realizó ensayos de metalografía en todos los grupos de probetas SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA, para observar los efectos producidos en la microestructura.

Se obtuvo para 1.1 por ciento SNAM MG9011 una resistencia a la tracción de 693.23 Megapascuales, límite de fluencia 395.72 Megapascuales, porcentaje de elongación 12.23 por ciento, una dureza Brinell de 187.36, tamaño de grano nodular grande 148 micrómetros, promedio 113 micrómetros y el pequeño 53 micrómetros y para 0.77 por ciento SNAM MG9033LA una resistencia a la tracción de 678.61 Megapascuales, límite de fluencia 404.61 Megapascuales, porcentaje de elongación 15.78 por ciento, una dureza Brinell de 228.20, tamaño de grano nodular grande 153,5 micrómetros, promedio 128 micrómetros y el pequeño 70.50 micrómetros. En los dos casos se muestran en su microestructura el grafito formando perfectamente nódulos.

Palabras claves: Hierro nodular, microaleación, esferoidización, propiedades mecánicas, ensayos.

SUMMARY

In this experimental work, the nodular iron specimens were modeled, cast and mechanized with percentages of 1.1, 1.3, 1.5 and 1.7 percent SNAM MG9011 and 0.77 percent SNAM MG9033LA to perform the tensile test under ASTM E-8 and NTE INEN standards. -ISO 6892-1 and hardness tests under ASTM E-10, once the results were evaluated, the groups of 1.1 percent SNAM MG9011 and 0.77 percent SNAM MG9033LA were classified in grade 65-45-12.

Spectrometry tests were performed in the 1.1 percent SNAM MG9011 and 0.77 percent SNAM MG9033LA groups, to verify their chemical composition under the parameters established in different bibliographies.

Metallography tests were performed on all groups of SNAM MG9011 and SNAM MG9033LA specimens, to observe the effects produced on the microstructure.

A tensile strength of 693.23 Megapascals, fluency limit 395.72 Megapascals, elongation percentage 12.23 percent, Brinell hardness of 187.36, large nodular grain size 148 micrometers, average 113 micrometers and small 53 micrometers were obtained for SNAM MG9011 1.1 percent and for 0.77 percent SNAM MG9033LA a tensile strength of 678.61 Megapascals, fluency limit 404.61 Megapascals, elongation percentage 15.78 percent, a Brinell hardness of 228.20, large nodular grain size 153.5 micrometers, average 128 micrometers and small 70.50 micrometers. In both cases, the graphite is shown in its microstructure, perfectly forming nodules.

Key words: Nodular iron, microalloy, spheroidization, mechanical properties, tests.

CAPITULO I.- MARCO TEORICO

1.1. Tema del trabajo experimental

INFLUENCIA DE LAS MICROALEACIONES (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033LA) EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE FUNDICIÓN NODULAR (NTE INEN 2499-2009) PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, EN LA EMPRESA FUNDI LASER.

1.2. Antecedentes investigativos

El tratamiento de esferoidización se puede realizar por el método de sándwich o trasiego que consiste en colocar al fondo de la olla de transporte la liga FeSiMg cubierta de rebaba de metal, posteriormente hará reacción con el metal fundido que se vierte en la olla. El propósito del tratamiento es el de cambiar la composición química y las condiciones físicas del metal de tal manera que después de un tratamiento de inoculación el grafito precipite en forma de esferoides. Esta definición implica que el tratamiento debe ser seguido por una inoculación. [1]

En la investigación “Producción de fundición nodular en el cubilote eco-eficiente de la Universidad de Antioquia” presentado por D. Mejía, A. Gómez, C. Silvia, R. Aristizábal, se utilizó variaciones desde el 2.6 % hasta 2.8 % de aleación denominada Liga#1 la cual estaba compuesta de 8 a 10 % de magnesio; 44 a 46%; Silicio; 0.8 a 1.2 de tierras raras (cerio y otros); 0.9 a 1.1 % de Ca; 0.8 a 1.0 % de Al y balance Fe, los resultados fueron satisfactorios al usar 2.8 % de Liga ya que mostraba una influencia significativa en la cantidad de azufre final en el metal. Los porcentajes de azufre disminuyeron de 0.041 % hasta 0.017 %, lo que significa una disminución de casi el 50% de azufre final. [2]

En la investigación “Influencia de la composición química de diferentes chatarras de acero sobre las propiedades mecánicas de la fundición con grafito esferoidal” presentado por I. Asenjo, P. Larrañaga, J. Garay y J. Sertucha, se utilizó la metodología “*sandwich*” para el tratamiento de nodulización. En la cámara de reacción de las cucharas de 50kg, se introdujo el 1.2% (0.6kg) de liga FeSiMg 511 (% Si= 44.7; % Mg= 5.6; % Ca= 1.2; % TR= 0.7 y Fe= 47.8) antes del vertido del metal en su interior, en el caso de las cucharas de 2500kg , en la cámara de reacción se introdujo el 0.8% (20 kg), lo que dio como resultado que la reacción producida por el tratamiento de estas cantidades de liga FeSiMg no originaban variaciones en los principales

elementos aportados por las chatarras empleadas, es decir, los contenidos de manganeso, fósforo, cromo, titanio, estaño y cobre son similares a los detectados en los correspondientes metales base. [3]

En la investigación “Lanthanum in Ductil Iron” publicada por J. Fourmann, FerroPem y C. Ohio en la Ductil Iron Society, mencionan que, Lantano hasta 0,04%, tiene un efecto de grafitación en hierros fundidos resultantes en una tendencia refrigeración inferior. A niveles más altos, se forma grafito compactado. La matriz está libre de carburos hasta que el contenido de La alcanza 0,075%. A valores más altos, los carburos aumentan el contenido con la presencia de grafito irregular. [4]

1.2.1. Justificación

La empresa Fundi Laser es una siderúrgica de la provincia de Tungurahua especializada en la obtención de hierro nodular mediante la fundición por hornos de inducción, sus procesos de fabricación permiten obtener un producto de calidad el mismo que debe estar acreditado por el INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).

Para desarrollar fundición nodular se necesita de diferentes tipos y porcentajes de aleaciones, que dan lugar a propiedades mecánicas y físicas como resistencia, límite de fluencia y porcentaje de alargamiento, que son necesarios para cumplir con las exigencias que requiere la normativa NTE INEN 2499-2009 y que la empresa ofrezca un producto certificado y de alta calidad.

El proyecto permitirá determinar el grado de resistencia mecánica obtenido, al utilizar diferentes porcentajes de microaleaciones SNAM MG 9011 y SNAM MG9033LA (nombre comercial “liga”) en el hierro nodular, mediante un proceso de experimentación y establecer la microaleación que brinde mejores propiedades mecánicas en el hierro nodular. Dando paso al uso de diferentes microaleaciones en el proceso de esferoidización, ya que la línea de producción de la empresa Fundi laser no puede depender de un solo tipo de microaleación “liga”.

La factibilidad del proyecto es alta ya que la empresa proveerá las ferroaleaciones y las diferentes probetas, los ensayos de tracción se los realizaran en el INEN y los ensayos de dureza, metalografía y espectrometría se los realizaran en el laboratorio de

la Facultad de Ingeniería Mecánica se pueden realizar todos los ensayos que indica la norma ASTM.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de las microaleaciones (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033LA) en el proceso de obtención de fundición nodular (NTE INEN 2499-2009) para determinar las propiedades mecánicas, en la empresa fundi laser.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar la influencia de la Liga SNAM MG 9011 y SNAM MG9033LA en las propiedades mecánicas de la fundición nodular
- Comparar los resultados de las probetas con los de la norma NTE INEN 2499-2009 y definir al grado que corresponda.
- Realizar ensayos de tracción, dureza, metalografía y espectrometría en las probetas de hierro nodular.
- Determinar el tipo de liga que brinda mejores propiedades mecánicas bajo los requerimientos de tensión de la Norma NTE INEN 2499-2009.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Hierro fundido nodular o dúctil

El hierro nodular o dúctil, es una fundición de grafito esferoidal que fue desarrollado en Julio de 1946 por H. Morrogh en la British Cast Iron Research Association de Inglaterra, utilizaron cerium como agente nodulizante, para la formación de nódulos de grafito en el hierro fundido, debido a su alto costo y problemas de control en el proceso no se lo utilizó en la industria. [5]

La International Nickel Company, utilizo el magnesio como elemento estabilizador de carburos, debido a que al usar otros elementos como el cromo provocaba grandes explosiones. Con esto lograron eliminar las reacciones violentas por completo al introducir el magnesio disuelto, permitiendo incorporarlo al líquido sin inconvenientes, esto genero un método seguro para la formación de nódulos de grafito. Denominándola como Ductile Iron, siendo introducida al mercado en marzo del 1947 y atribuyéndole a K. Millies como el co-inventor del hierro nodular o dúctil. [5]

En los procesos de obtención se adiciona ferrosilicio y ferromanganeso, y en ocasiones especiales, se añaden también ferrocromo, níquel, etc., para obtener en cada caso la composición deseada.

Las fundiciones pueden contener elementos de acuerdo con el diagrama hierro-carbono.

- ✓ Del 2 al 6.67% de carbono.
- ✓ Del 0.5 al 3.5% de silicio.
- ✓ Del 0.4 al 2% de manganeso.
- ✓ Del 0.01 al 0.20% de azufre.
- ✓ Del 0.040 al 0.80% de fosforo.

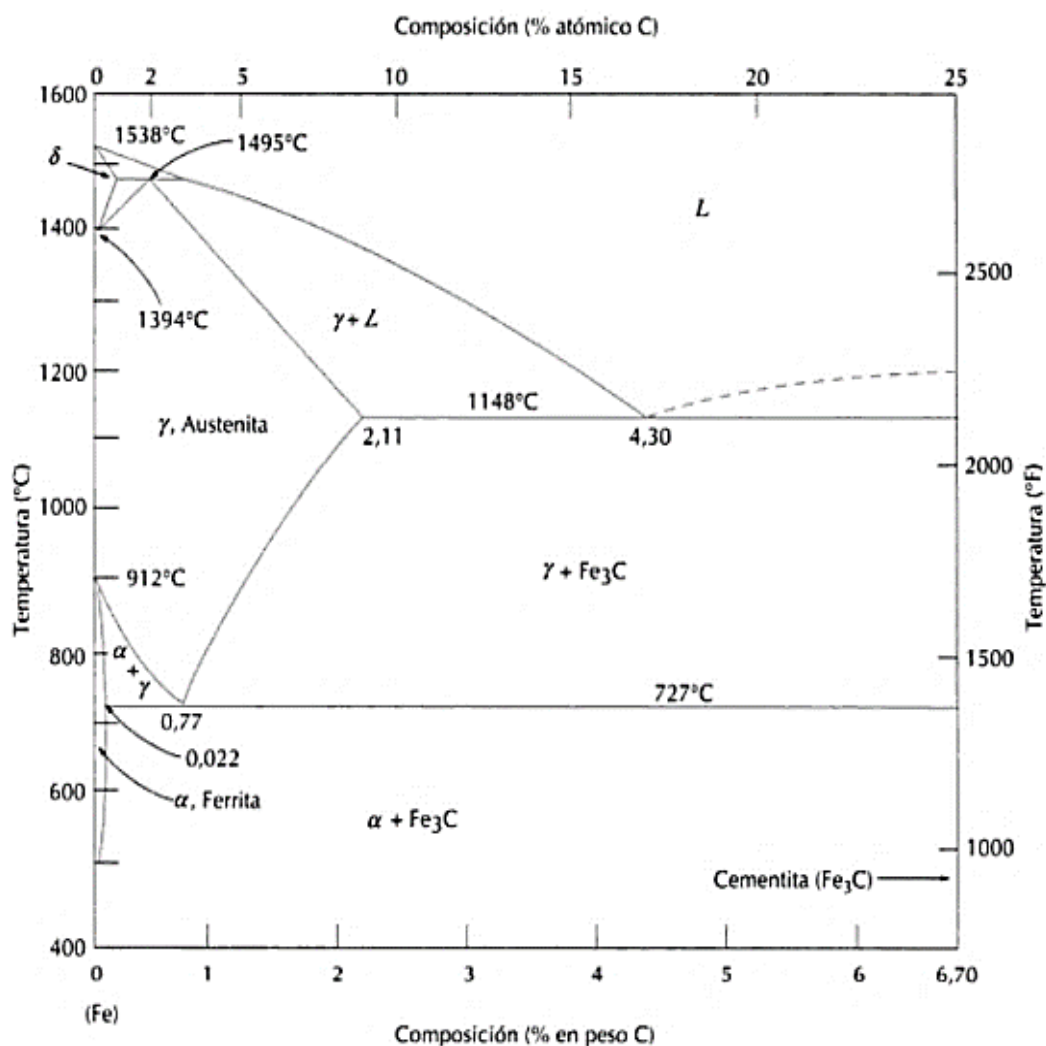


Figura 1. Diagrama binario hierro – carbono

Fuente: [6]

Tabla 1. Rangos de composición química para hierros fundidos típicos sin alear

Rangos de composición química para hierros fundidos típicos sin alear.				
Elemento	Hierro gris, %	Hierro blanco, %	Hierro maleable (fundido blanco), %	Hierro dúctil %
Carbono	2.5-4.0	1.8-3.6	2.00-2.60	3.0-4.0
Silicio	1.0-3.0	0.5-1.9	1.10-1.60	1.8-2.8
Magnesio	0.25-1.0	0.25-0.80	0.20-1.00	0.10-1.00
Azufre	0.02-0.25	0.06-0.20	0.04-0.18	0.03 máx.
Fosforo	0.05-1.0	0.06-0.10	0.18 máx.	0.10 máx.

Fuente: [7]

El hierro nodular o dúctil es un hierro colado con una microestructura que contiene un mínimo de 60% de partículas de grafito en forma de nódulos esferoidales en una matriz metálica dúctil. Permitiendo obtener una resistencia mucho mayor que la fundición gris y un mayor grado de ductilidad, estas propiedades pueden mejorarse con tratamientos térmicos adecuados.

1.4.2. Influencia de la microaleación liga en el hierro nodular

La introducción del magnesio en el hierro líquido es una de las mayores dificultades en la obtención del hierro nodular. El magnesio hierve a 1150 °C y cuando se sumerge en el hierro fundido en estado líquido a más de 1300 °C, se funde y evapora al instante. Reaccionando violentamente, arrastrando consigo algo de hierro. “Para lograr un tratamiento con garantías de éxito mediante el magnesio se requiere una mezcla íntima, la liberación del magnesio tendría que durar cierto periodo de tiempo y en varios puntos del hierro líquido. Esto puede lograrse con el empleo de aleaciones de magnesio con uno o más elementos que sean solubles en el hierro y el método de nodulización usado en el proceso de obtención.” [8]

En el tratamiento con magnesio, parte de este elemento se pierde por evaporación, otra se oxida y reacciona con el hierro fundido formando compuestos solubles e insolubles, alguno de los cuales entra a formar parte de la escoria. La principal reacción en la formación de escoria, es la que produce el sulfuro de magnesio. Solamente es efectivo en la nodulización del grafito el magnesio residual que queda en el hierro fundido.

“El contenido mínimo de magnesio necesario en la pieza, para esferoidizar el grafito, puede ser tan bajo como 0.1% o sobrepasar 0.2%. Si no se añade más esferoidizante que el magnesio, su concentración no debe ser menor de 0.2%. Las adiciones coincidentes de cerio, otras tierras raras o calcio permiten reducir el mínimo de magnesio a 0.1%, pero de este valor no se puede pasar.” [9]

El Ferro magnesio liga SNAM MG9033LA usado en el trabajo de investigación posee la siguiente composición química.

Tabla 2. Composición química SNAM MG9033LA

ELEMENT	PERCENTAGE
MAGNESIUM	8.0 - 9.0 %
CALCIUM	2.75 - 3.25 %
RARE EARTH	3.25 - 3.5 %
LANTHANUM	2.5 - 3.0 %
SILICON	43.0 - 48.0 %
ALUMINIUM	1.0 % max
IRON	REST

Fuente: Quintal S.A.

El Ferro magnesio liga SNAM MG9033LA usado en el trabajo de investigación posee la siguiente composición química.

Tabla 3. Composición química SNAM MG9033LA

ELEMENTS	SPECIFICATION	TEST RESULTS
SILICON %	44.0 - 48.0 %	45.30 %
TOTAL RARE EARTHS %	0.80 - 1.20 %	1.14 %
MAGNESIUM %	8.00 - 10.00 %	9.25 %
CALCIUM %	0.80 - 1.20 %	1.16 %
ALUMINIUM	0.00 - 1.00 %	0.59 %

Fuente: Quintal S.A.

Los porcentajes de Silicio y Magnesio no varían significativamente, pero en el caso del SNAM MG9033LA incrementa el porcentaje de tierras raras y esta contiene Lantano. Es aquí donde los porcentajes y elementos adicionales pueden afectar significativamente las propiedades del hierro nodular, por lo tanto se tratará de determinar el tipo de hierro nodular que se obtendrá.

1.4.3. Tratamiento esferoidizante (Trasiego)

La mayor cantidad de fundición con grafito esferoidal se está produciendo con el método de trasiego. Su principal ventaja es su sencillez.

La aleación madre de magnesio se coloca en el fondo de la cuchara de tratamiento vacía, sobre ella se vierte la fundición líquida. “La técnica que hay que emplear para llenar la cuchara es algo crítica. Se cree que la corriente del hierro líquido debe dirigirse lejos del emplazamiento de la aleación y que la cuchara ha de llenarse con rapidez. Ambas cosas se estima que aumenta la eficacia al impedir que la aleación flote hacia la superficie y se quemé.” [9]

La empresa Fundi laser ocupa una variedad de este método denominado sándwich que consiste en emparedar con arena aglomerada con resina. Colocando sobre la ferroaleación liga, esta se autoendurece, permitiendo que la reacción no empiece hasta después de romper la cascara con una varilla de acero que se sumerge desde arriba de la cuchara. Consiguiendo una buena recuperación de magnesio junto con bajas pérdidas de temperatura.

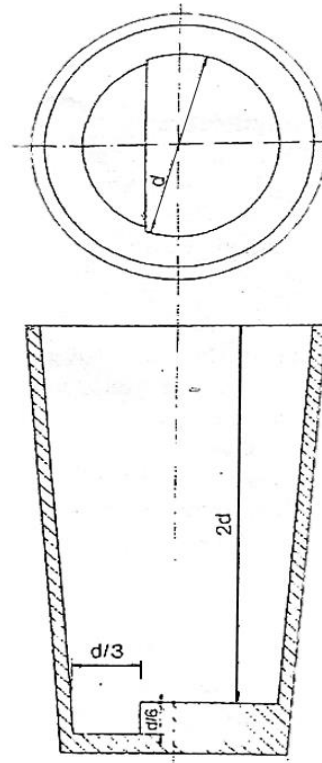


Figura 2. Relación diámetro/altura de una cuchara adecuada para el método por trasiego en cuchara abierta. El porcillo del fondo facilita el tratamiento sandwich

Fuente: [9]

1.4.4. Norma NTE 2499-2009

“Esta norma establece los requisitos para los elementos fundidos en fundición nodular, también conocido como esferoidal o hierro dúctil, descrito como fundición de hierro con grafito substancialmente en forma esferoidal y esencialmente libre de otras formas de grafito.” [10]

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.). [10]

Las fundiciones de hierro dúctil se clasifican de acuerdo al grado de resistencia mecánica que se muestra a continuación.

Tabla 4. Requerimientos de tensión NTE INEN 2499:2009

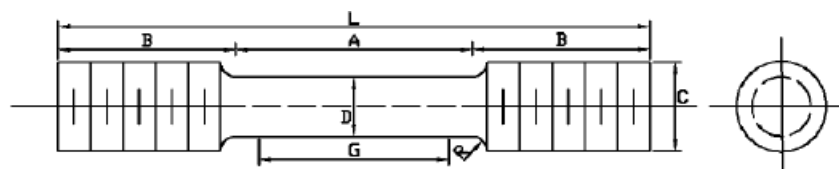
	GRADO				
	60-40-18	65-45-12	80-55-06	100-70-03	120-90-02
Resistencia a la tracción mínimo (MPa)	414	448	552	689	827
Limite de fluencia mínimo (MPa)	276	310	379	483	621
Elongación en 50mm mínimo %	18	12	6,0	3,0	2,0

Fuente: [10]

1.4.5. Tracción

“El ensayo de tracción es usado para determinar varias propiedades de los materiales que son importantes para el diseño. Generalmente se deforma una probeta normalizada hasta llegar a su rotura, con la aplicación uniaxial de una carga de tracción que aumenta gradualmente.” [11]

Tabla 5. Probeta de tracción normalizada



	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

Fuente: [12]

“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.” [11]

“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”. [11]

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.

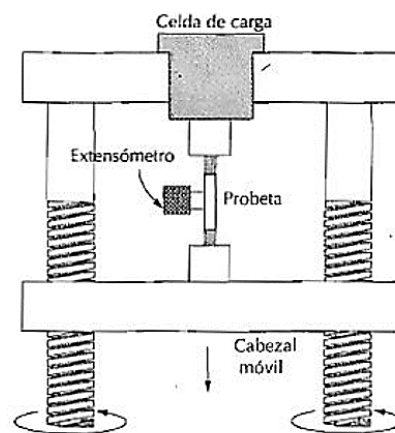


Figura 3. Máquina universal para ensayos de tracción.

Fuente: [12]

La tensión se define como:

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

Donde:

F = Carga instantánea aplicada perpendicular a la sección de la probeta (N) o libras fuerza.

A₀= Área de la sección original antes de aplicar la carga (m² o pulg²). [12]

1.4.6. Dureza

En los ensayos de dureza Brinell, se fuerza un penetrador duro esférico en la superficie del metal a ensayar. Las cargas normalizadas están comprendidas entre 500 y 3000 kg en incrementos de 500 kg, durante el ensayo la carga se mantiene constante durante 10 a 30

segundos. Los materiales más duros requieren cargas mayores. “El número de dureza Brinell HB, es una función de tanto la magnitud de la carga como del diámetro de la huella resultante. Este diámetro se mide con una lupa de pocos aumentos, que tienen una escala graduada en el ocular. El diámetro medido es entonces convertido en HB aproximado usando tablas. La superficie sobre la cual se realiza la huella deberá estar perfectamente lisa.” [12]

Tabla 6. Características mecánicas hierro nodular norma ASTM A-536

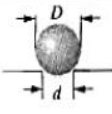

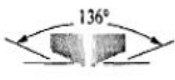



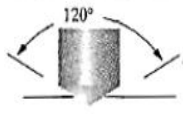



Clase	Resistencia psi x 1000	Límite de Fluencia	Dureza Brinell	Alargamiento (%)
60-40-18	42000	28000	149-187	18
65-45-12	45000	32000	170-207	12
80-55-06	56000	38000	187-255	6
100-70-03	70000	47000	217-267	3
120-70-02	84000	63000	240-300	2

Fuente: [13]

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.” [14]

“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” [14]

Tabla 7. Técnicas de ensayo de dureza

Tabla 6.4 Técnicas de ensayo de dureza		Forma del penetrador		Carga	Fórmula para el número de dureza ^a
Ensayo ^a	Penetrador	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	$HV = 1,854P/d^2$
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 Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> 15 kg 30 kg 45 kg Rockwell superficial
					

Fuente: [12]

1.4.7. Metalografía

Este ensayo 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 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 granulósidades).

- ✓ Pulido de las superficies fundamentalmente se emplean los procedimientos mecánicos, químico-mecánicos y electroquímicos.
- ✓ Lavado de la microprobeta: primero con agua y después con alcohol.
- ✓ Secado con papel absorbente. [12]

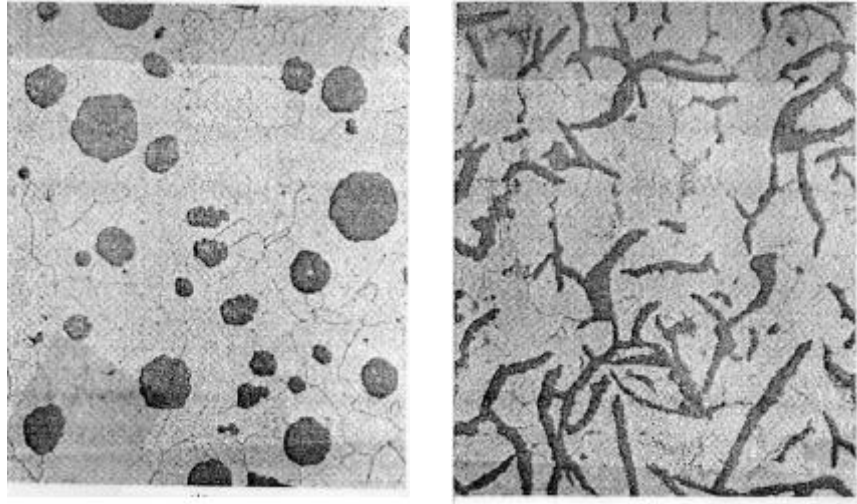


Figura 4. Microestructura fundición nodular y gris

Fuente: [8]

1.4.8. Espectrometría

La espectrometría de fibra óptica basado en dispositivo acoplado cargado (CCD) produce una fluorescencia que proporciona métodos muy simples, rentables y sensibles en la mayoría de las técnicas de biosensores. El instrumento espectral de baja resolución con detección CCD hace posible la detección simultánea de señales de absorción transitorias para varios elementos. “El uso de una fuente de luz continua permite determinar un amplio rango de concentraciones sin dilución de la suspensión. Estos espectros permiten la determinación cualitativa y cuantitativa de metálicos en varios tipos de muestras, incluyendo metales, aleaciones, suelos, minerales y roca.” [15]

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. [16]

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° cónico. Se utiliza una separación de 3, 4 o 5 mm. Se centra el espacio analítico en los ejes ópticos del espectrómetro.

Las líneas más sensibles de arsénico, boro, carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y estaño se encuentran en la región ultravioleta al vacío. La absorción de la radiación por el aire en esta región se supera al evacuar el espectrómetro y llenar la cámara de chispa con argón. Se produce una descarga de condensador entre la superficie de tierra de la muestra del disco y un electrodo de forma cónica. La descarga finaliza en un tiempo de intensidad predeterminado integral de una línea de hierro seleccionada, o en un tiempo predeterminado, y se registran las energías radiantes relativas o las concentraciones de las líneas analíticas. [17]

1.5. Hipótesis

Las microaleaciones (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033LA) en el proceso de obtención de fundición nodular (NTE INEN 2499-2009) influyen en las propiedades mecánicas.

1.5.1. Variable independiente

Microaleaciones (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033) en el proceso de obtención de fundición nodular.

1.5.2. Variable dependiente

Propiedades Mecánicas.

CAPITULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para la elaboración del proyecto experimental es necesario la fabricación de las probetas de hierro nodular en las cuales se realizarán ensayos de tracción, dureza, metalografía y espectrometría, éstas ayudarán a ver la composición del material y saber las propiedades mecánicas de cada ensayo, hasta llegar a un grado propuesto por la norma NTE INEN 2499-2009.

Se menciona las normas a ser utilizadas en el presente proyecto.

ASTM E3-01, para la preparación de muestras para ensayo metalográfico. [18]

ASTM E8-04 para ensayo de tracción de materiales metálicos. [11]

ASTM E10-01 norma para ensayo de dureza Brinell de materiales metálicos. [14]

E415-99a norma para el análisis espectrométrico de vacío de emisión óptica de carbono y acero de baja aleación. [17]

NTE INEN-ISO 6892-1, para ensayo de tracción de materiales metálicos, parte 1. Método de ensayo a temperatura ambiente. [19]

2.2. Métodos

Descriptiva

La modalidad descriptiva se utilizará para la descripción de los porcentajes de liga que debe adicionarse a la fundición para obtener hierro nodular.

2.2.1. Correlacional

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

2.2.2. Experimentación

Se realizarán ensayos de tracción, dureza, metalografía y espectrometría en probetas con liga SNAM MG 9011 y liga SNAM MG9033LA para determinar sus propiedades mecánicas bajo los requisitos para los elementos fundidos en fundición nodular de la norma NTE INEN 2499-2009.

2.2.3. Explicativa

Se explicará e interpretará los resultados obtenidos de los ensayos para encasillar a que grado pertenecen bajo la norma NTE INEN 2499-2009.

2.3. Técnicas

2.3.1. Observación experimental

Esta técnica permite detallar los parámetros y variables obtenidos durante los distintos ensayos, los cuales se podrán registrar en un estadístico que ayudara a tener resultados calificados. Además dentro de esta técnica se puede utilizar la observación directa la cual mediante un análisis permitirá determinar que liga es la más adecuada para obtener hierro nodular con las mejores propiedades mecánicas.

2.3.2. Análisis documental

Esta técnica permite detallar el material bibliográfico utilizado como libros, publicaciones, normas y catálogos para llevar a cabo la interpretación de los resultados de la investigación.

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

La población de estudio serán la probetas de hierro nodular con los dos tipos de liga y el porcentaje usado, para los distintos ensayos de tracción, tracción, dureza, metalografía y espectrometría, que permitirán conocer la composición del hierro nodular y propiedades mecánicas de cada ensayo, para identificar el tipo de liga que brinda mejores propiedades mecánicas bajo los requerimientos de tensión de la Norma NTE INEN 2499-2009.

2.4.2. Muestra

La muestra se determinó de acuerdo a los dos tipos de liga usados y los porcentajes usados de cada una, las cuales se distribuyeron de la siguiente manera.

Tabla 8. Tamaño de la muestra de investigación

Ensayo Composición	Tracción	Metalografía	Dureza	Espectrometría
330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1% liga SNAM MG9011	4	1.	5	Mayor grado de resistencia mecánica bajo norma NTE INEN 2499-2009.
300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,3% liga SNAM MG9011	4	1	5	
360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9011	4	1	5	
360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9011	4	1	5	
330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA	2	1	5.	Mayor grado de resistencia mecánica bajo norma NTE INEN 2499-2009.

Fuente: Autor

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable independiente

Microaleaciones (SNAM MG9011 Y SNAM MG9033) en el proceso de obtención de fundición nodular.

Tabla 9. Variable independiente.

ABSTRACTO		CONCRETO		
Definición	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Herramientas
La adición de liga permite la esferoidización del hierro nodular. Para la formación de hierro nodular se adiciona acero, retorno.	Microaleación para fundición	% de liga SNAM MG9011	Porcentajes del : 1.1% al 1.7%	Medición directa de liga
		% de liga SNAM MG9033LA	Porcentajes del : 0,14% al 0,4% de Lantano	
	Materiales para fundición.	Tipo de chatarra	Acero A36 o chatarra Retorno Fundi Laser.	Clasificación directa.

Fuente: Autor

2.5.2. Variable dependiente

Propiedades Mecánicas.

Tabla 10. Variable dependiente.

ABSTRACTO		CONCRETO		
Definición	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Herramientas
Las propiedades mecánicas son utilizadas para caracterizar un material basándose en normas como la ASTM.	Tracción.	Resistencia última a la tracción.	¿Qué resistencia última a la tracción tendrá el material?	Máquina universal. NTE INEN-ISO 6892-1. ASTM E8-04 Observación directa
		Límite de fluencia.	¿Qué límite de fluencia se obtendrá?	
		Porcentaje de elongación.	¿Qué porcentaje de elongación tendrá?	
	Metalografía	Porcentaje de elementos (Grafito, ferrita, perlita).	¿Qué porcentajes de elementos se obtendrá?	ASTM E-3 Microscopio. Bibliografía.
	Dureza.	Dureza Brinell 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

Fuente: Autor

2.6. Recolección de información

2.6.1. Observación

Al ser una investigación experimental la recolección de datos se los tomara mediante observación directa, ya que se efectuara en laboratorios la obtención de los mismos. Obteniendo como resultado de los ensayos: resistencias y porcentajes, creando una base de datos informativa para la investigación.

2.6.2. Documentación

La información necesaria fue proporcionada por libros, catálogos, normas y publicaciones relacionadas con el tema, utilizados como guía para la investigación e interpretación de resultados.

2.7. Procesamiento y análisis

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

- Determinar los porcentajes de liga SNAM MG 9011 y SNAM MG9033LA para añadir a la fundición nodular.
- Elaborar las probetas para ser sometidas a ensayos de tracción, según su porcentaje y tipo de liga. Comprobar cuál es el porcentaje de liga 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.
- Determinar el tipo de liga que brinde las mejores propiedades mecánicas bajo los requerimientos de tensión de la Norma NTE INEN 2499-2009.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Proceso de análisis de resultados

A continuación se muestra el diagrama de flujo detallando el proceso para llevar a cabo el estudio del comportamiento mecánico del hierro nodular con la aplicación de liga y en los ensayos de tracción, dureza, microestructura y espectrometría, los cuales sirvieron para caracterizar los materiales dentro de la norma NTE INEN 2499-2009 en la empresa Fundi Laser.

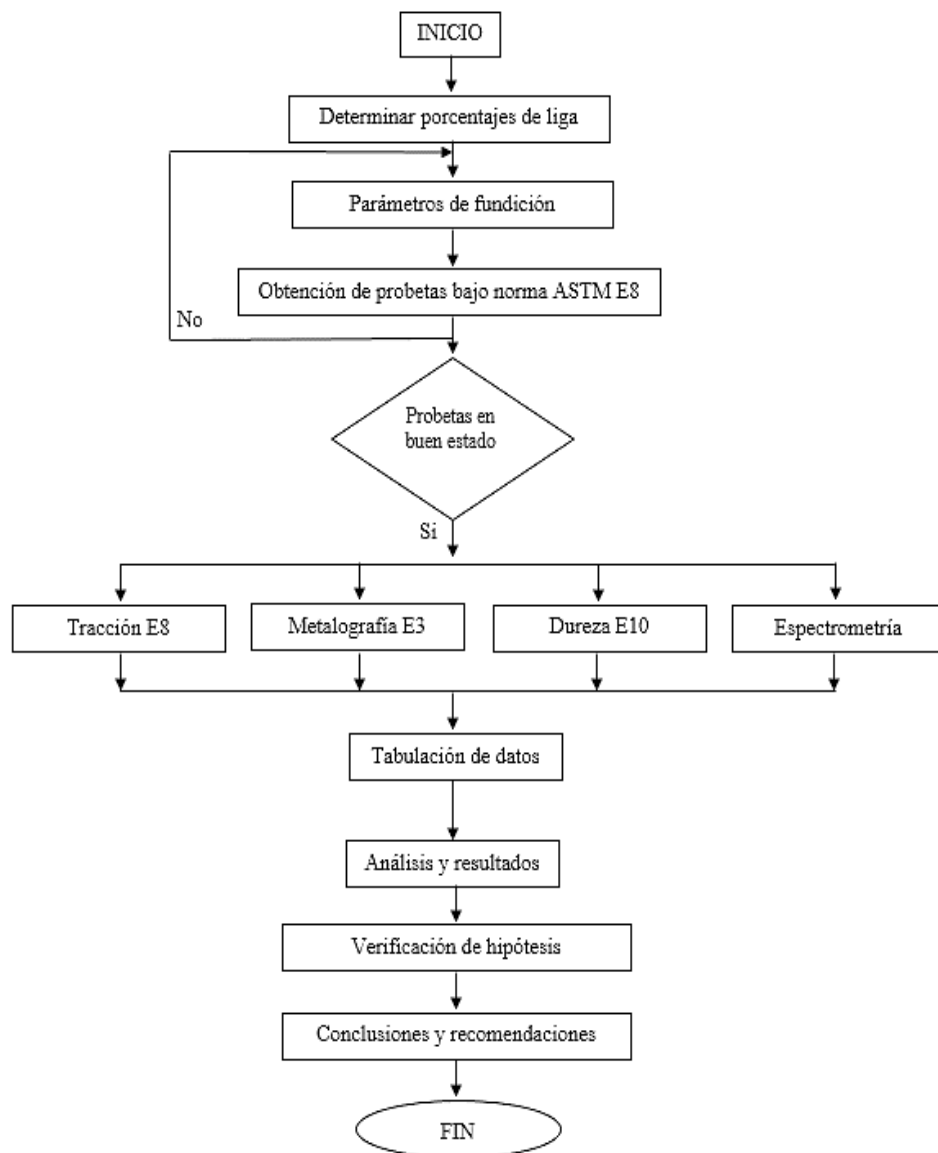


Diagrama 1. Diagrama de flujo para el estudio del comportamiento mecánico del hierro nodular.

Fuente: Autor

3.2. Determinación de porcentaje de Liga SNAM MG 9011 y SNAM

MG9033LA

Los porcentajes se establecieron partiendo de la composición química usada en la empresa fundi laser y los recomendados por investigaciones previas y se añadirá experimentalmente al hierro nodular.

Tabla 11. Composición – Número de probetas. Configuración desechada.

Composición de probetas	Cantidad
330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1% liga SNAM MG9011	4
300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,3% liga SNAM MG9011	4
360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9011	4
300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9011	4
330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1% liga SNAM MG9033LA	4
300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,3% liga SNAM MG9033LA	4
360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9033LA	4
300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9033LA	4

Fuente: Autor

En la obtención de las probetas con liga SNAM MG9033LA, existió un problema en cuanto a su efecto en el hierro nodular, este presento una excesiva fragilidad por lo que se prohibió el uso de este nodulizante al inicio. Después de usar varias configuraciones se determinó el nuevo porcentaje para la liga SNAM MG9033LA.

Tabla 12. Composición – Número de probetas. Configuración usada.

Composición de probetas	Cantidad
330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1% liga SNAM MG9011	4
300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,3% liga SNAM MG9011	4
360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9011	4
300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9011	4
330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA	2

Fuente: Autor

3.3. Parámetros de fundición

Par realizar el bloque de quilla para la obtención de las probetas de ensayos se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- La materia prima (chatarra y retorno Fundi laser) debe ser clasificada y pesada dependiendo de la carga de hierro nodular a fundirse.
- La arena verde de anteriores fundiciones se debe tamizar para reutilizarla y en el caso de ser arena nueva se la utilizara como arena de alta calidad (primera capa para moldeo).
- Los modelos de fundición deben tener ángulos de salida de acuerdo al procedimiento de modelado a realizarse.
- Una adecuada compactación en el procedimiento de moldeo, si es necesario se utilizara compactador neumático, evitando defectos en el elemento a fundir.
- La liga SNAM MG9011 y liga SNAM MG9033LA deben ser clasificadas y pesadas para el proceso de esferoidización en el fondo de la cuchara de fundición.
- Porcentajes de Acero, retorno de hierro nodular, grafito, ferro silicio, inoculante, cobre y liga.
- El colado de los elemento a fundir debe realizarse en el menor tiempo posible y una vez se realice el vaciado debe ser constante para evitar impurezas y turbulencias.

3.4. Obtención de probetas para ensayo de tracción

- a) Se elabora el modelo del bloque de quilla para las probetas de ensayo de acuerdo a las dimensiones proporcionadas por la norma “NTE INEN 2499-2009”

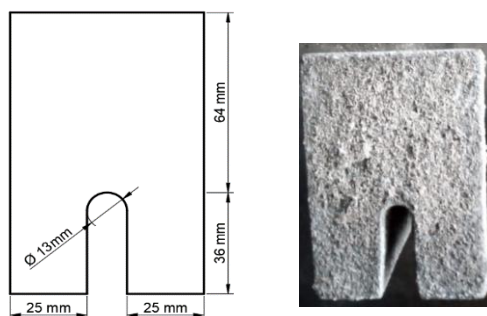


Figura 5. Bloque de quilla para probetas de ensayos (longitud= 152mm)

Fuente: Autor

- b) Moldear el bloque de quilla en arena silícica con un 0.05% de Bentonita.



Figura 6. Modelado de bloque de quilla para obtención de probetas

Fuente: Autor

- c) Fundir el hierro nodular en el horno de inducción de media frecuencia marca YIPHEE ELECTRIC FURNACE de 300 KVA, potencia de recuperación 440 V y capacidad de 500 kg/h., con los porcentajes de aleantes adecuados.



Figura 7. Bloque de quilla para probetas de ensayos (longitud= 152mm)

Fuente: Autor

- d) Colado del hierro nodular en el modelo de quilla en la arena de fundición.



Figura 8. Bloque de quilla para probetas de ensayos (longitud= 152mm)

Fuente: Autor

- e) Limpiar, cortar y maquinar las probetas de acuerdo a las dimensiones de la norma ASTM E8.



Figura 9. Bloque de quilla para probetas de ensayos (longitud= 152mm)

Fuente: Autor

- f) Los ensayos de tracción se los realizo en el laboratorio de ensayos generales del Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN en la maquina universal de ensayos. Código 2499; Calibrador: Código: EI-G-16 y en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

3.5. Tabulación y recolección de datos de ensayos de tracción

Los datos de los ensayos de tracción se muestran en las siguientes fichas.

3.5.1. Liga SNAM MG9011

Tabla 13. Resistencia a la tracción (1,1% liga SNAM MG9011; 330 kg Acero; 130 Retorno)

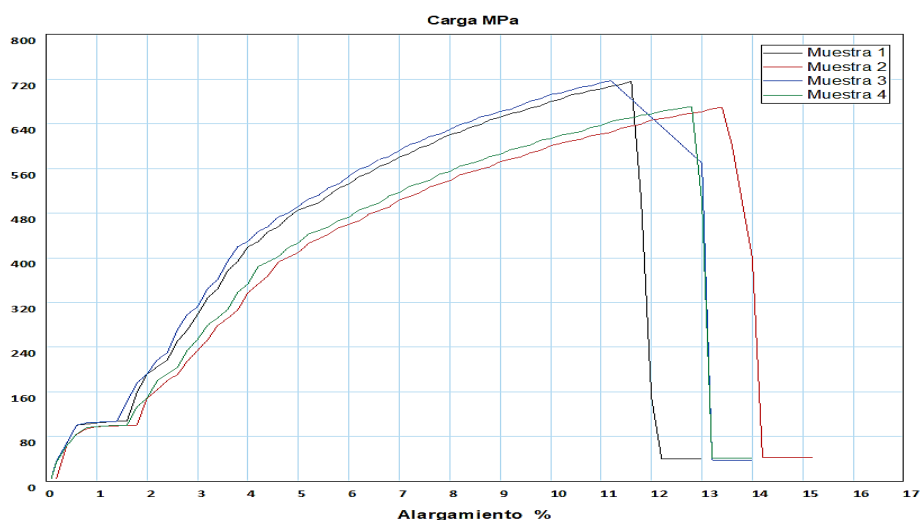
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1% liga SNAM MG9011						
MÉTODO DE ENSAYO DE TRACCIÓN NTE INEN-ISO 6892-1						
Lugar:	Laboratorio de ensayos generales - INEN					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos. Código 2499. Calibrador: EI-G-16					
Fecha:	07/11/2019	Ciudad:	Quito			
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Revisado por:	Ing. Juan Paredes			
PARAMETROS DE ENSAYO						
Norma de requisito:	NTE INEN 2499					
Tipo de probeta:	cilíndrica					
Condiciones ambientales:	Temperatura °C:	No aplica				
	Humedad Relativa %:	No Aplica				
Descripción del objeto de ensayo:	Probeta hierro nodular					
Marca:	FUNDILASER					
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>						
DETALLE TÉCNICO DE PROBETAS						
Lote	Fecha de Fundición	Acero (kg)	Retorno (kg)	Grafito (kg)	FeSi (Kg)	Liga (kg)
02 10 A	2/10/2019	330	130	16,56	6,52	5,06
04 10 B	4/10/2019	330	130	16,56	6,52	5,06

09 10 C	9/10/2019	330	130	16,56	6,52	5,06
11 10 D	11/10/2019	330	130	16,56	6,52	5,06

RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS

Muestra	Área de sección (mm ²)	Carga de fluencia (kN)	Carga de rotura (kN)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	Rotura en zona calibrada
1	129,1	53,02	93,74	404,92	715,87	11,62	Si
2	129,7	50,82	88,52	384,37	669,51	13,42	Si
3	128,2	52,53	92,56	406,76	716,81	11,18	No
4	130,3	51,58	89,44	386,82	670,74	12,70	Si

GRAFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN	EVALUACIÓN
<p>Se ensayaron 4 probetas con 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1% liga SNAM MG9011.</p> <p>Las probetas no presentaron rupturas fuera del rango de calibración.</p>	<p>Área de sección promedio de las probetas fue 129,33 mm².</p> <p>El límite de fluencia promedio es 395,72 MPa.</p> <p>La resistencia a la tracción es 693,23 MPa.</p> <p>El porcentaje de alargamiento es 12,23 %.</p>
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran
Revisado por:	Ing. Juan Paredes
Aprobado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 14. Resistencia a la tracción (1,3% liga SNAM MG9011; 300 kg Acero; 160 Retorno)
Retorno)

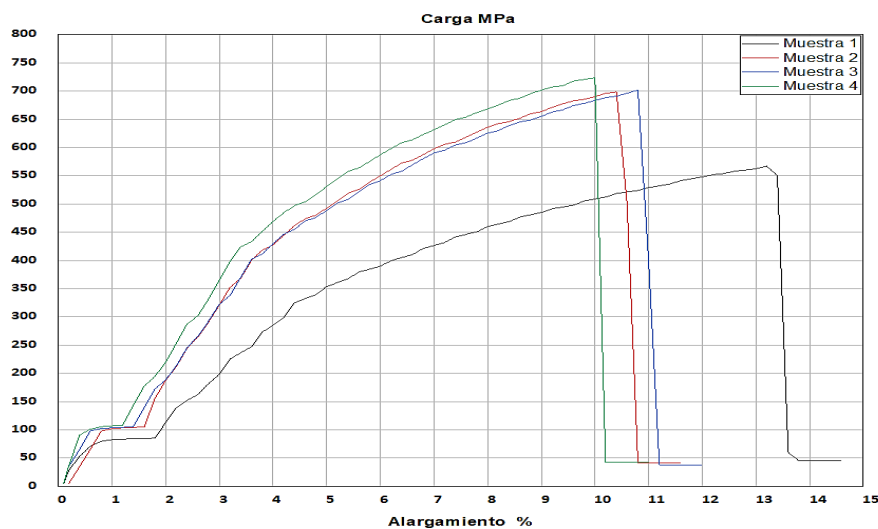
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,3% liga SNAM MG9011						
MÉTODO DE ENSAYO DE TRACCIÓN NTE INEN-ISO 6892-1						
Lugar:	Laboratorio de ensayos generales - INEN					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos. Código 2499. Calibrador: EI-G-16					
Fecha:	13/8/2019	Ciudad:	Quito			
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Revisado por:	Ing. Juan Paredes			
PARAMETROS DE ENSAYO						
Norma de requisito:	NTE INEN 2499					
Tipo de probeta:	cilíndrica					
Condiciones ambientales:	Temperatura °C:	No aplica				
	Humedad Relativa %:	No Aplica				
Descripción del objeto de ensayo:	Probeta hierro nodular					
Marca:	FUNDILASER					
  						
DETALLE TÉCNICO DE PROBETAS						
Lote	Fecha de Fundición	Acero (kg)	Retorno (kg)	Grafito (kg)	FeSi (Kg)	Liga (kg)
03 07 A	3/7/2019	300	160	15,01	5,37	5,98
08 07 B	8/7/2019	300	160	15,01	5,37	5,98

11 07 C	11/7/2019	300	160	15,01	5,37	5,98
16 07 D	16/7/2019	300	160	15,01	5,37	5,98

RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS

Muestra	Área de sección (mm ²)	Carga de fluencia (kN)	Carga de rotura (kN)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	Rotura en zona calibrada
1	130,34	45,75	73,89	350,97	566,87	13,28	Si
2	132,02	51,13	92,24	387,29	698,67	10,14	Si
3	130,24	51,34	91,41	394,17	701,84	10,86	Si
4	129,89	53,24	93,98	409,9	723,52	9,90	Si





GRAFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN	EVALUACIÓN
Se ensayaron 4 probetas con 300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,3% liga SNAM MG9011. Las probetas no presentaron rupturas fuera del rango de calibración.	Área de sección promedio de las probetas fue 130.62 mm ² . El límite de fluencia promedio es 385.58 MPa. La resistencia a la tracción es 672.73 MPa. El porcentaje de alargamiento es 11.05 %.
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran
Revisado por:	Ing. Juan Paredes
Aprobado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 15. Resistencia a la tracción (1,5% liga SNAM MG9011; 360 kg Acero; 100 Retorno)

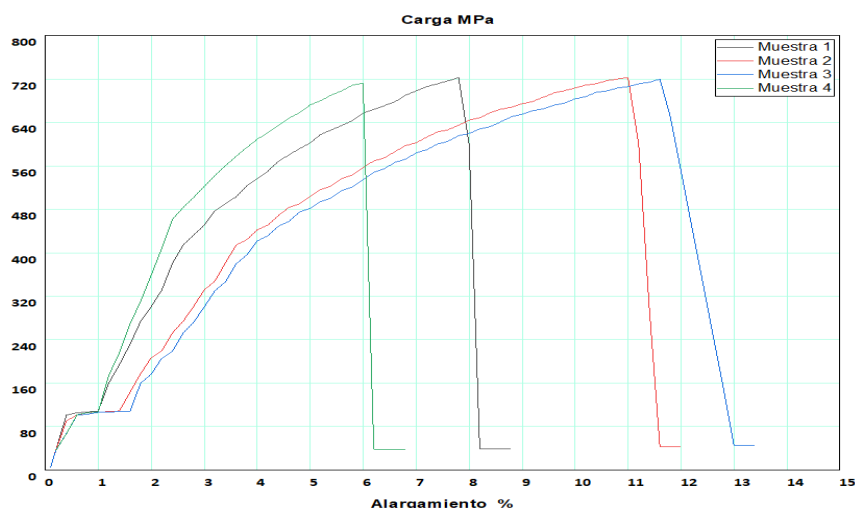
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9011						
MÉTODO DE ENSAYO DE TRACCIÓN NTE INEN-ISO 6892-1						
Lugar:	Laboratorio de ensayos generales - INEN					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos. Código 2499. Calibrador: EI-G-16					
Fecha:	07/11/2019	Ciudad:	Quito			
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Revisado por:	Ing. Juan Paredes			
PARAMETROS DE ENSAYO						
Norma de requisito:	NTE INEN 2499					
Tipo de probeta:	cilíndrica					
Condiciones ambientales:	Temperatura °C:	No aplica				
	Humedad Relativa %:	No Aplica				
Descripción del objeto de ensayo:	Probeta hierro nodular					
Marca:	FUNDILASER					
 						
DETALLE TÉCNICO DE PROBETAS						
Lote	Fecha de Fundición	Acero (kg)	Retorno (kg)	Grafito (kg)	FeSi (Kg)	Liga (kg)
16 10 E	16/10/2019	360	100	17,97	7,67	5,98
18 10 F	18/10/2019	360	100	17,97	7,67	5,98

23 10 G	23/10/2019	360	100	17,97	7,67	5,98
25 10 H	25/10/2019	360	100	17,97	7,67	5,98

RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS

Muestra	Área de sección (mm ²)	Carga de fluencia (kN)	Carga de rotura (kN)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	Rotura en zona calibrada
1	127,2	50,50	91,67	397,85	722,20	7,80	No
2	130,2	53,49	96,21	401,94	722,90	10,86	Si
3	128,1	50,59	92,85	392,23	719,89	11,60	Si
4	127,8	51,61	91,32	402,46	712,16	5,90	No

GRAFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN	EVALUACIÓN
<p>Se ensayaron 4 probetas con 360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9011.</p> <p>Las probetas no presentaron rupturas fuera del rango de calibración.</p>	<p>Área de sección promedio de las probetas fue 128,33 mm².</p> <p>El límite de fluencia promedio es 398.62 MPa.</p> <p>La resistencia a la tracción es 719,29 MPa.</p> <p>El porcentaje de alargamiento es 9,04 %.</p>
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran
Revisado por:	Ing. Juan Paredes
Aprobado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 16. Resistencia a la tracción (1,7% liga SNAM MG9011; 300 kg Acero; 160 Retorno)

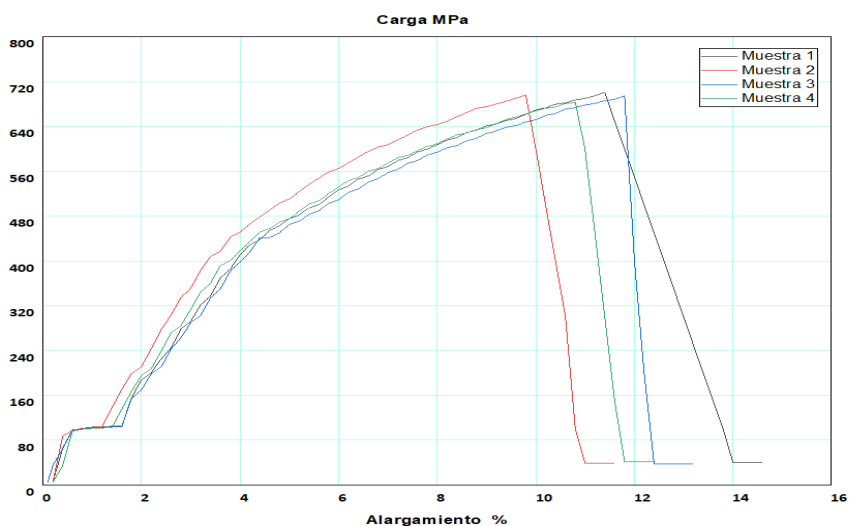
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9011						
MÉTODO DE ENSAYO DE TRACCIÓN NTE INEN-ISO 6892-1						
Lugar:	Laboratorio de ensayos generales - INEN					
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos. Código 2499. Calibrador: EI-G-16					
Fecha:	03/10/2019	Ciudad:	Quito			
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Revisado por:	Ing. Juan Paredes			
PARAMETROS DE ENSAYO						
Norma de requisito:	NTE INEN 2499					
Tipo de probeta:	cilíndrica					
Condiciones ambientales:	Temperatura °C:	No aplica				
	Humedad Relativa %:	No Aplica				
Descripción del objeto de ensayo:	Probeta hierro nodular					
Marca:	FUNDILASER					
 						
DETALLE TÉCNICO DE PROBETAS						
Lote	Fecha de Fundición	Acero (kg)	Retorno (kg)	Grafito (kg)	FeSi (Kg)	Liga (kg)
04 09 A	4/9/2019	300	160	17,97	7,67	5,98
06 09 B	6/9/2019	300	160	17,97	7,67	5,98

11 09 C	11/9/2019	300	160	17,97	7,67	5,98
14 09 D	14/9/2019	300	160	17,97	7,67	5,98

RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS

Muestra	Área de sección (mm ²)	Carga de fluencia (kN)	Carga de rotura (kN)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	Rotura en zona calibrada
1	129,5	61,82	92,28	469,53	700,92	11,48	Si
2	128,7	51,74	90,57	397,96	696,18	9,86	Si
3	128,5	51,57	90,10	397,48	694,48	11,86	Si
4	130,3	53,43	91,06	401,01	683,40	10,76	Si

GRAFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN	EVALUACIÓN
Se ensayaron 4 probetas con 300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9011. Las probetas no presentaron rupturas fuera del rango de calibración.	Área de sección promedio de las probetas fue 129,25 mm ² . El límite de fluencia promedio es 416,5 MPa. La resistencia a la tracción es 693.75 MPa. El porcentaje de alargamiento es 10.99 %.
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran
Revisado por:	Ing. Juan Paredes
Aprobado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

3.5.2. Liga SNAM MG9033LA

Para la obtención de probetas de liga MG9033LA se utilizó el porcentaje recomendado por el fabricante y bibliografía citada, siendo el mismo que liga SNAM MG9011 para la composición del hierro nodular. Se obtuvo una excesiva fragilidad de los elementos fundidos. Al inicio prohibiendo el uso de la Liga MG9033LA, debido a pérdidas económicas muy costosas, ya que para la obtención de probetas se debía realizar una fundición de 460kg de hierro nodular dentro la cual se obtenía los bloques de quilla, siendo esto la capacidad de los crisoles y hornos.



Figura 10. Efectos 1.1% liga SNAM MG9033LA.

Fuente: Autor

Por lo tanto se realizó investigaciones posteriores, utilizando los porcentajes recomendados por Jerome Fourmann, FerroPem, Cleveland Ohio de su publicación “Lanthanum in Ductile Iron” en la DUCTILE IRON SOCIETY “DIS”.

Tabla 17. Determinación porcentaje de liga SNAM MG9033LA





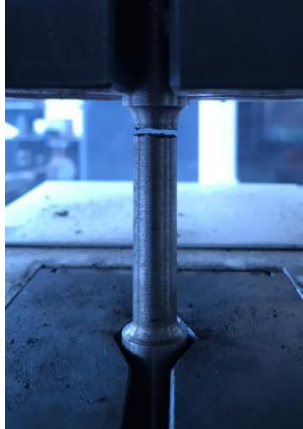
Carga de Hierro nodular	% Lantano recomendado y utilizado	Lantano necesario para carga de 460 Kg de hierro nodular	Kg de Lantano/ Kg de Liga SNAM MG9033LA
460 Kg	0,023%	0,106 kg	0,03 kg

Fuente: Autor

$$Kg \text{ de nodulizante} = \frac{0.106 \text{ kg Lantano}}{0,03 \frac{Kg \text{ Lantano}}{Kg \text{ Liga SNA MG9033LA}}}$$

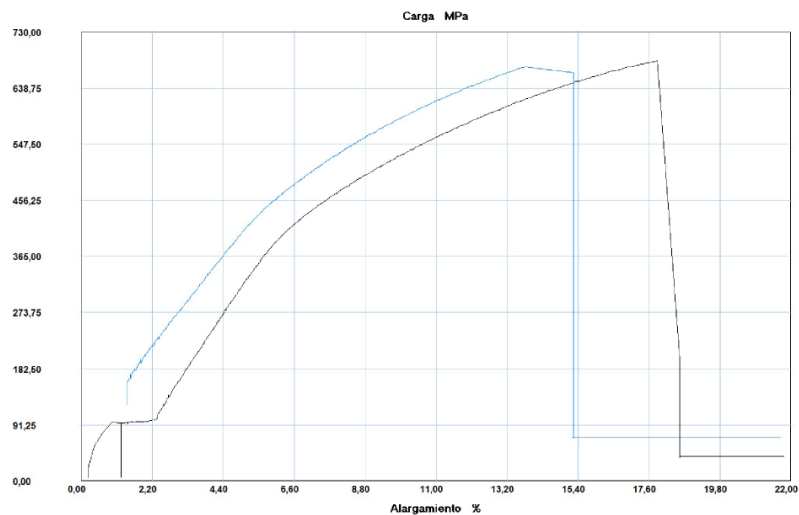
$$Kg \text{ de nodulizante} = 3.54 \text{ Kg Liga SNA MG9033LA}$$

Tabla 18. Resistencia a la tracción (0,77% liga SNAM MG9033LA; 330 kg Acero; 130 Retorno)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA					
MÉTODO DE ENSAYO DE TRACCIÓN ASTM D3					
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal. Metro test 1500Kn				
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Ambato		
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Revisado por:	Ing. Juan Paredes		
PARAMETROS DE ENSAYO					
Norma de requisito:	NTE INEN 2499				
Tipo de probeta:	cilíndrica				
Condiciones ambientales:	Temperatura °C:	20,01 °C			
	Humedad Relativa %:	69,8			
Descripción del objeto de ensayo:	Probeta hierro nodular				
Marca:	FUNDILASER				
DETALLE TÉCNICO DE PROBETAS					
Lote	Fecha de Fundición	Acero (kg)	Retorno (kg)	Grafito (kg)	Liga (kg)
06 10 A1	6/10/2019	330	130	16,56	3,54
06 10 A1	6/10/2019	330	130	16,56	3,54
					

RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS

Muestra	Área de sección (mm ²)	Carga de fluencia (kN)	Carga de rotura (kN)	Límite de fluencia (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	Rotura en zona calibrada
1	131,30	51,16	89,75	389,65	683,51	17,8	Si
2	131,51	55,17	88,60	419,56	673,71	13,75	Si



OBSERVACIÓN

Se ensayaron 2 probetas con 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA.

EVALUACIÓN

Área de sección promedio de las probetas fue 131,405 mm².
El límite de fluencia promedio es 395,72 MPa.
La resistencia a la tracción es 404,605 MPa.
El porcentaje de alargamiento es 15,775 %.

Elaborado por: Sr. Jairo Villagran

Revisado por: Ing. Juan Paredes

Aprobado por: Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

3.6. Análisis de resultados

Se muestra a continuación un resumen de los ensayos de tracción.

Tabla 19. Resumen ensayos de tracción 1.1% a 1.7% liga SNAM MG9011 y 0.77% liga SNAM MG9033LA.

330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1% liga SNAM MG9011.			300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,3% liga SNAM MG9011.			360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9011.			300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9011.			330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA			
Límite de fluencia (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	Límite de fluencia (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	Límite de fluencia (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	Límite de fluencia (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	Límite de fluencia (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Porcentaje de Alargamiento (%)	
404,92	715,87	11,62	350,97	566,87	13,28	397,85	722,2	7,8	469,53	700,92	11,48	389,65	683,51	17,8	
384,37	669,51	13,42	387,29	698,67	10,14	401,94	722,9	10,86	397,96	696,18	9,86	419,56	673,71	13,75	
406,76	716,81	11,18	394,17	701,84	10,86	392,23	719,89	11,6	397,48	694,48	11,86	-	-	-	
386,82	670,74	12,7	409,9	723,52	9,9	402,46	712,16	5,9	401,01	683,4	10,76	-	-	-	
PROMEDIO	395,72	693,23	12,23	385,58	672,73	11,05	398,62	719,29	9,04	416,50	693,75	10,99	404,61	678,61	15,78

Fuente: Autor

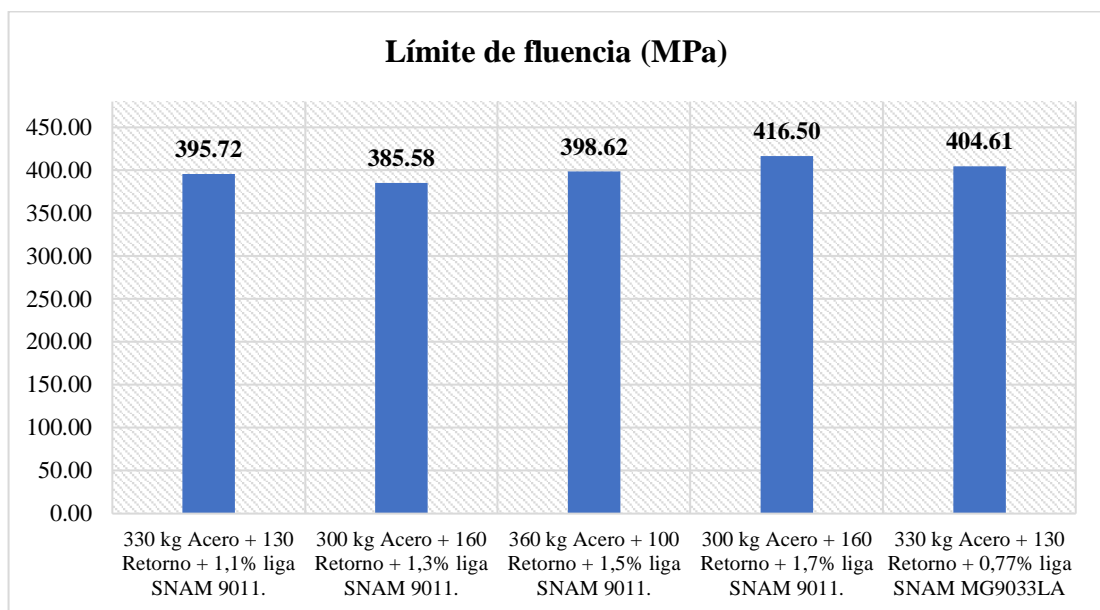
En la **tabla 19** se recopiló toda la información de los ensayos de tracción para interpretar el comportamiento de los porcentajes de liga SNAM MG9011 y liga SNAM MG9033LA en el hierro nodular. Cabe mencionar que las probetas obtenidas con Liga SNAM MG9033LA solo se realizaron 2 probetas con 0,77% Liga SNAM MG9033LA con un contenido de Lantano de 0.23%. A continuación se presenta los promedios de cada grupo de ensayo con sus respectivas gráficas y análisis.

Tabla 20. Promedios resultados ensayos de tracción

Kg acero + Kg retorno + % liga	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Porcentaje de Alargamiento (%)
330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1% liga SNAM MG9011.	395,72	693,23	12,23
300 kg Acero + 160 Retorno + 1,3% liga SNAM MG9011.	385,58	672,73	11,05
360 kg Acero + 100 Retorno + 1,5% liga SNAM MG9011.	398,62	719,29	9,04
300 kg Acero + 160 Retorno + 1,7% liga SNAM MG9011.	416,50	693,75	10,99
330 kg Acero + 130 Retorno + 0,77% liga SNAM MG9033LA	404,61	678,61	15,78

Fuente: Autor

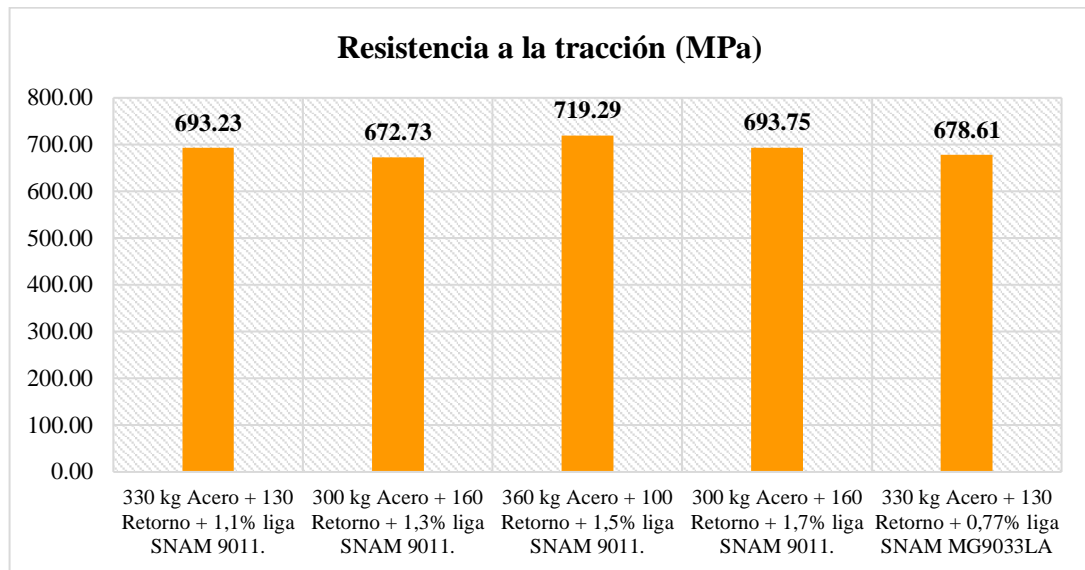
Diagrama 2. Comparación límite de fluencia SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA



Fuente: Autor

Se observa El 1,7% de liga SNAM MG9011 presenta un límite de fluencia mayor de 416,50 MPa en comparación al 0,77% de liga SNAM MG9011 con un límite de fluencia de 404,61 MPa. Cabe mencionar que el límite de fluencia obtenido en todos los casos cumple con la norma NTE INEN 2499:2009.

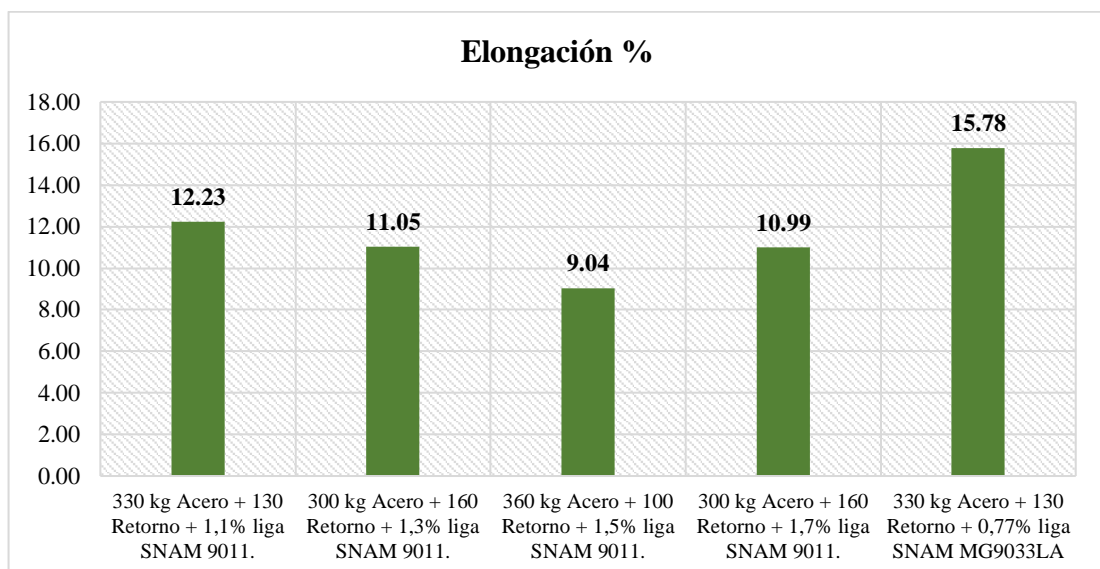
Diagrama 3. Comparación resistencia a la tracción SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA



Fuente: Autor

La mayor resistencia a la tracción presenta al 1,5% de liga SNAM MG9011 de 719,29 MPa. Al igual que en el límite de fluencia todos los casos cumplen con la resistencia a la tracción indicado en la norma NTE INEN 2499:2009.

Diagrama 4. Comparación % Elongación SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA



Fuente: Autor

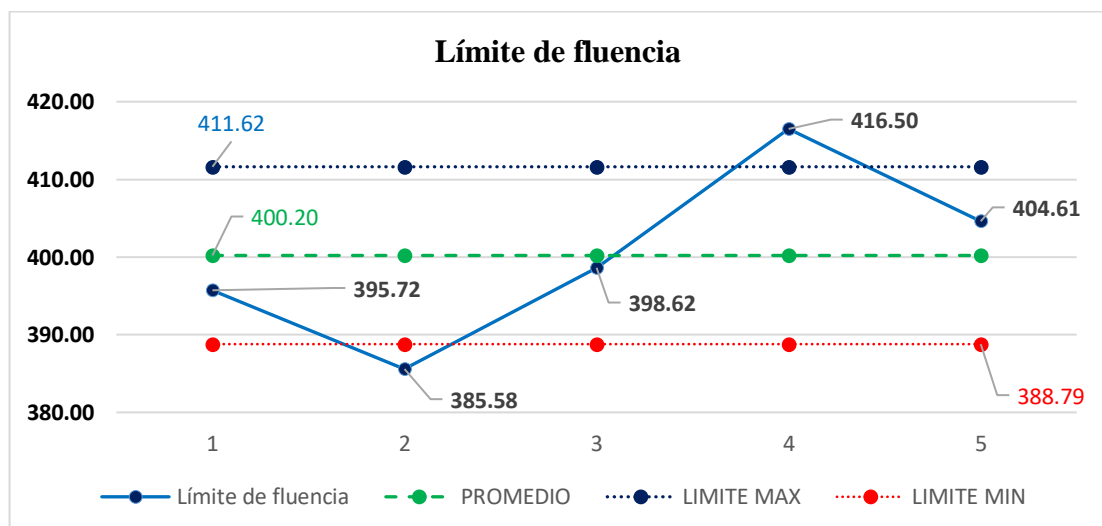
Este parámetro es de mayor importancia, debido a que el límite de fluencia y resistencia a la tracción cumplen en todos los casos. De acuerdo a la norma NTE INEN 2499:2009, se requiere un porcentaje mínimo de elongación de 12%. Los únicos que cumplen con este requisito son 0.77% de liga SNAM MG9033LA y 1,1% de liga SNAM MG9011.

3.6.1. Parámetros de ponderación

Se obtiene los promedios de los casos existentes y la desviación estándar, se pondera los resultados bajo los siguientes parámetros. Para la interpretación de resultados se utilizara los parámetros de valor promedio de las propiedades mecánicas y la desviación estándar.

- Límite de fluencia:** Valores aceptables superiores e inferiores, siempre y cuando se encuentren dentro de la desviación estándar. Medianamente aceptables los valores superiores al promedio fuera de la desviación estándar. Rechazados valores inferiores al promedio fuera de la desviación estándar.

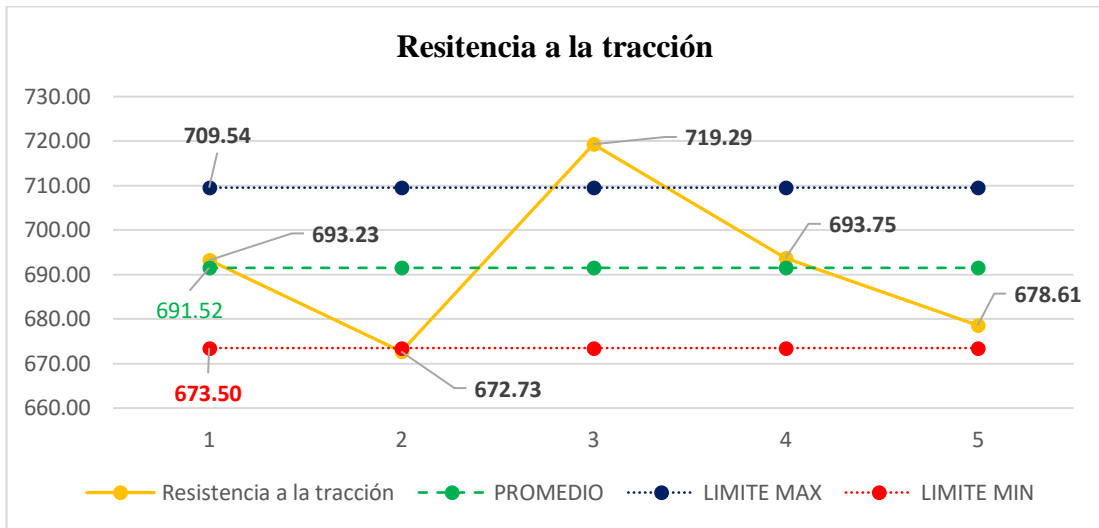
Diagrama 5. Control de resultados límite fluencia



Fuente: Autor

- Resistencia a la tracción:** Valores aceptables superiores e inferiores, siempre y cuando se encuentren dentro de la desviación estándar. Medianamente aceptables los valores inferiores al promedio fuera de la desviación estándar. Rechazados valores superiores al promedio fuera de la desviación estándar.

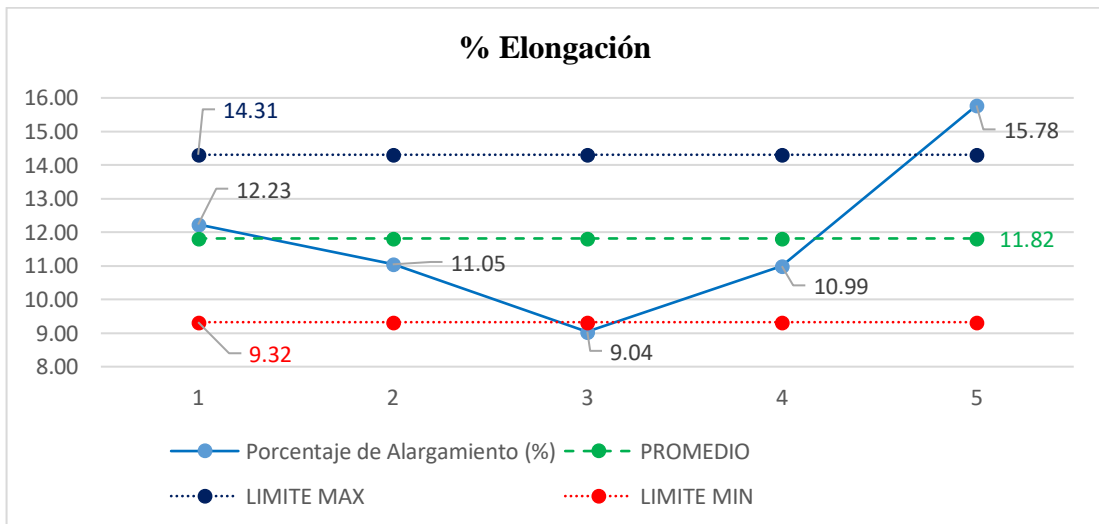
Diagrama 6. Control de resultados resistencia a la tracción.



Fuente: Autor

- 3. Porcentaje de Elongación:** Valores aceptables los superiores al promedio. Medianamente aceptables aquellos inferiores al promedio dentro de la desviación estándar y rechazados los valores inferiores al promedio fuera de la desviación estándar.

Diagrama 7. Control de resultados porcentaje de elongación.



Fuente: Autor

3.6.2. Resultados de ponderación

Los valores usados para la ponderación son:

ACEPTABLE	10
MEDIANAMENTE ACEPTABLE	5
RECHAZADO	0

Tabla 21. Ponderación resultados límite de fluencia, resistencia a la tracción y porcentaje de elongación.

Composición	Límite de fluencia (Mpa)	Δ	Resistencia a la tracción (Mpa)	Δ	Porcentaje de Alargamiento (%)	Δ	Mejores propiedades
330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1% liga SNAM MG 9011.	395,72	4,49	693,23	1,71	12,23	0,41	10
300 kg Acero + 160 Retorno + 1,3% liga SNAM MG 9011.	385,58	14,62	672,73	18,80	11,05	0,77	3,33
360 kg Acero + 100 Retorno + 1,5% liga SNAM MG 9011.	398,62	1,58	719,29	27,77	9,04	2,78	3,33
300 kg Acero + 160 Retorno + 1,7% liga SNAM MG 9011.	416,50	16,29	693,75	2,23	10,99	0,83	6,67
330 kg Acero + 130 Retorno + 0,77% liga SNAM MG9033LA	404,61	4,40	678,61	12,91	15,78	3,96	10
Promedio	400,20		691,52		11,82		
Desviación Estándar	11,41		18,02		2,49		

Fuente: Autor

En el análisis que se realizó se obtuvieron 2 muestras aceptables con un valor de ponderación de 10. El primer caso con 1,1% liga SNAM MG9011, 330 Kg de acero y 130 Kg de retorno obteniendo una resistencia a la tracción de 693,23 MPa, un límite de fluencia de 395,72 MPa y un % de elongación de 12,23.

El segundo caso con 0,77% liga SNAM MG9033LA, 330 Kg de acero y 130 Kg de retorno obteniendo una resistencia a la tracción de 678,61 MPa, un límite de fluencia de 404,61 MPa y un % de elongación de 15,78.

Analizando los resultados se procedió a encasillar al grado que pertenece, de acuerdo a la norma NTE INEN 2499:2009.

Tabla 22. Parámetros del grado 65-45-12 Norma NTE INEN 2499:2009 y grupos 1.1% liga SNAM MG9011 Y 0.77% SNAM MG9033LA.

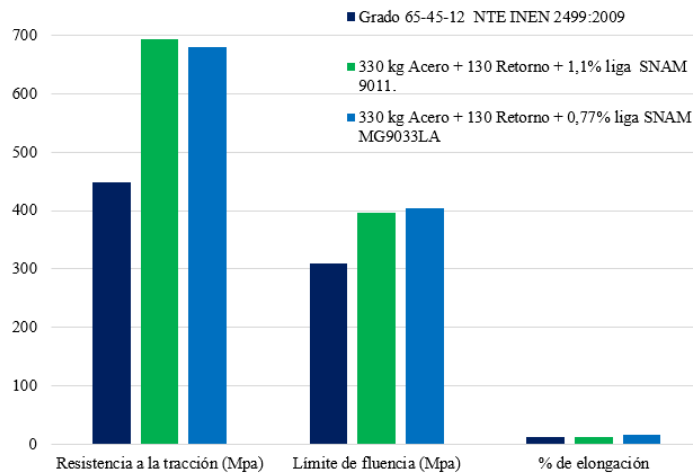
	Grado 65-45-12 NTE INEN 2499:2009	330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1% liga SNAM MG9011.	330 kg Acero + 130 Retorno + 0,77% liga SNAM MG9033LA
Resistencia a la tracción (Mpa)	448	693,23	678,61
Límite de fluencia (Mpa)	310	395,72	404,61
% de elongación	12	12,23	15,78

Fuente: Autor

Se puede observar que las propiedades mecánicas obtenidas con los 2 tipos de liga son superiores a las del grado 65-45-12 de la norma por tal motivo se las toma como aceptables, el uso de 0,77% liga SNAM MG9033LA presenta las mejores propiedades en comparación al 1,1% SNAM MG9011 en cuanto a resistencia, fluencia y elongación.

En cuanto a aplicación se debe usar la liga SNAM MG9033LA para la obtención de hierro nodular de grado 65-45-12. Tomar en cuenta que el uso de 1,1% liga SNAM MG9011 no se descarta debido a que satisface los requisitos de la norma.

Diagrama 8. Comparación de propiedades entre grupos SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA



Fuente: Autor

Al analizar los resultados se determina que los grupos de probetas con 1,1% liga SNAM MG9011 (330 kg Acero+130 Retorno) y 0,77% liga SNAM MG9033LA (330 kg Acero+130 Retorno) cubren el grado 65-45-12, por lo cual se realizara el ensayo de espectrometría en estas probetas.

3.7. Ensayo de espectrometría

Se realizó el ensayo de espectrometría para determinar los porcentajes de Carbono, Silicio y en el caso de la liga SNAM MG9033LA el porcentaje de Lantano. Los porcentaje de C y Si, se compararon con los requisitos de la norma NTE INEN 2499:2009.

3.7.1. Proceso de ensayo de espectrometría

- ✓ Cortar muestras de las probetas de hierro nodular con 1,1% liga SNAM MG9011 y 0,77% liga SNAM MG9033LA.

Figura 11. Obtención de muestras



Fuente: Autor

- ✓ Encender el monitor, CPU, espectrómetro y dar apertura a la válvula del tanque de Argón.

Figura 12. Preparación previa al uso del espectrómetro



Fuente: Autor

- ✓ Calibrar el equipo con la muestra de acero A36 y colocar la muestra a ensayar.

Figura 13. Calibración del espectrómetro



Fuente: Autor

✓ Obtención de resultados.

Figura 14. Resultados obtenidos a partir de software del equipo espectrométrico.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO											UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO											
Sample Identification											Sample Identification											
SampleNo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	SampleNo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
1.	>5.400	1.745	0.179	0.205	0.038	0.057	0.0028	0.039	0.128	0.029	1.	>5.400	1.824	0.174	0.983	0.110	0.055	0.0097	0.048	0.123	0.035	
2.	>5.400	1.915	0.171	0.166	0.031	0.056	0.0018	0.034	0.152	0.029	2.	>5.400	4.536	0.146	0.556	0.103	0.048	0.021	0.071	0.132	-0.130	
3.	>5.400	3.897	0.170	0.373	0.062	0.056	0.010	0.051	0.150	0.063	3.	>5.400	3.892	0.148	0.872	0.116	0.047	0.022	0.071	0.125	0.116	
4.	>5.400	4.831	0.181	0.185	0.037	0.062	0.0042	0.039	0.136	0.045	4.	>5.400	1.999	0.165	0.641	0.092	0.051	0.011	0.051	0.125	0.059	
5.	>5.400	2.742	0.179	0.182	0.030	0.055	0.0024	0.037	0.151	0.058	5.	>5.400	2.346	0.167	0.432	0.078	0.055	0.018	0.061	0.145	0.099	
∅	-5.400	2.786	0.176	0.222	0.040	0.057	0.0042	0.040	0.143	0.041	∅	-5.400	2.719	0.160	0.697	0.100	0.051	0.016	0.060	0.130	0.088	
∩											∩											
σ		0.076	0.0051	0.085	0.013	0.0028	0.0033	0.0065	0.011	0.014	σ		1.218	0.012	0.227	0.015	0.0038	0.0057	0.011	0.0091	0.040	
∪		4.255	2.898	38.29	32.50	4.912	78.57	16.25	7.692	34.15	∪		41.73	7.500	32.57	15.00	7.451	35.63	18.33	7.000	45.45	
∩											∩											
As	B	Bi	Ce	Co	Mg	Nb	Pb	Sb	Sn		As	B	Bi	Ce	Co	Mg	Nb	Pb	Sb	Sn		
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
1.	0.020	0.0077	<0.0030	0.043	0.0029	0.055	0.0027	>0.036	0.112	0.021	1.	0.066	0.034	<0.0030	0.092	0.0054	>0.096	0.0093	>0.036	>0.180	0.058	
2.	0.017	0.0054	<0.0030	0.037	0.0027	0.049	0.0024	>0.036	0.084	0.016	2.	0.063	0.098	<0.0030	0.133	0.0078	>0.096	0.014	>0.036	>0.180	0.060	
3.	0.032	0.024	<0.0030	0.081	0.0043	>0.096	0.0077	>0.036	>0.180	0.031	3.	0.065	0.071	<0.0030	0.131	0.0075	>0.096	0.014	>0.036	>0.180	0.060	
4.	0.020	0.012	<0.0030	0.045	0.0032	>0.096	0.0031	>0.036	0.098	0.019	4.	0.059	0.036	<0.0030	0.086	0.0059	>0.096	0.0093	>0.036	>0.180	0.051	
5.	0.016	0.0097	<0.0030	0.041	0.0031	-0.087	0.0023	>0.036	0.088	0.017	5.	0.040	0.050	<0.0030	0.110	0.0071	>0.096	0.012	>0.036	>0.180	0.041	
∅	0.021	0.012	<0.0030	0.049	0.0032	0.077	0.0036	-0.036	0.112	0.021	∅	0.059	0.058	<0.0030	0.110	0.0067	-0.096	0.012	-0.036	-0.180	0.054	
∩											∩											
σ	0.0064	0.0073		0.018	0.00062	0.023	0.0023		0.039	0.0060	σ	0.011	0.027		0.022	0.0010		0.0024			0.0082	
∪	30.48	60.83		36.73	19.37	29.87	63.89		34.82	28.57	∪	18.64	46.55		20.00	14.93		20.00			15.19	
La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe				La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe				
%	%	%	%	%	%	%	%				%	%	%	%	%	%	%	%				
1.	0.0017	0.0096	<0.0050	0.029	<0.0010	<0.0010	>0.040	91.75			1.	0.007	0.0095	0.0026	>0.072	0.0054	0.0022	>0.040	90.50			
2.	0.0025	0.0077	<0.0050	0.041	<0.0010	<0.0010	0.025	91.88			2.	0.026	0.012	0.0052	>0.072	>0.036	0.0042	>0.040	87.95			
3.	0.0049	0.011	0.0017	0.050	0.0030	0.0020	>0.040	91.11			3.	0.028	0.012	0.0052	>0.072	0.017	0.0036	>0.040	88.33			
4.	0.0045	0.010	<0.0050	0.043	<0.0010	0.0012	0.033	91.61			4.	0.018	0.0095	0.0027	>0.072	0.012	0.0017	>0.040	90.67			
5.	0.0023	0.0080	<0.0050	0.039	0.0011	<0.0010	0.028	91.77			5.	0.022	0.010	0.0041	>0.072	0.027	0.0032	>0.040	90.43			
∅	0.00233	0.0093	0.00074	0.040	0.0014	0.0012	>0.033	91.62			∅	0.022	0.011	0.0040	-0.072	0.019	0.0030	>0.040	89.58			
∩											∩											
σ	0.011	0.0014	0.00054	0.0076	0.00088	0.00044	0.0068	0.303			σ	0.0092	0.0014	0.0013		0.012	0.0010		1.321			

Fe120
Bruker Elemental

Concentrations
1/1

Fe120
Bruker Elemental



Concentrations
1/1

Fuente: Autor

3.7.2. Tabulación de resultados

Se muestra a continuación los resultados obtenidos por el espectrómetro Bruker Q4 TASMÁN.



Tabla 23. Espectrometría 1.1% liga SNAM MG9011 (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 							
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1 % liga SNAM MG9011							
ENSAYO DE ESPECTROMETRIA							
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM						
Máquina:	Espectrómetro Bruker						
Fecha:	5/3/2020	Ciudad:	Ambato				
Responsable:	Ing. Sebastián Sánchez	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villegas				
PARAMETROS DE ESPECTROMETRIA							
Tipo:	Espectrómetro de emisión óptica						
Operador:	Ing. Sebastián Sánchez						
Gas usado:	Argón						
Máquina:	Espectrómetro Bruker Q4 Tasman						
Descripción del material:	Probeta hierro nodular						
DATOS Y RESULTADO DEL ENSAYO REALIZADO							
Probeta	Mediciones	Fe	C	Si	Mg	Cu	La
330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1 % liga SNAM MG9011	1	92,75	< 5,4	1,745	0,055	0,128	0,0017
	2	92,88	< 5,4	1,915	0,049	0,152	0,0025
	3	93,11	< 5,4	3,897	0,096	0,15	0,0009
	4	92,61	< 5,4	3,631	0,096	0,136	0,0045
	5	92,77	< 5,4	2,742	0,087	0,151	0,0023
Promedio		92,82	< 5,4	2,786	0,077	0,143	0,00238

OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
Se realizó el ensayo de espectrometría con 330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1 % liga SNAM MG9011. En los laboratorios de ensayo de materiales - FICM.		Se verifica que el Magnesio (Mg) de la liga se encuentra en 0,077% dentro del rango recomendado para la nodulización (0,01% - 0,2%). El porcentaje de Silicio (Si) está en el rango usado y recomendado 1,8 - 2,8 % al igual que el porcentaje de Cu que va de 0,1% a 0,2%. Tomar en cuenta que el porcentaje de C debería encontrarse entre 3-4% recomendado, aunque en este caso no se puede apreciar en los resultados y el porcentaje de Lantano (La) es mínimo.	
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 24. Espectrometría 0.77% liga SNAM MG9033LA (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA			
ENSAYO DE ESPECTROMETRIA			
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM		
Máquina:	Espectrómetro Bruker		
Fecha:	5/3/2020	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Ing. Sebastián Sánchez	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villegas
PARAMETROS DE ESPECTROMETRIA			
Tipo:	Espectrómetro de emisión óptica		
Operador:	Ing. Sebastián Sánchez		
Gas usado:	Argón		
Máquina:	Espectrómetro Bruker Q4 Tasman		
Descripción del objeto de ensayo:	Probeta hierro nodular		

Marca:		FUNDILASER					
DATOS Y RESULTADO DEL ENSAYO REALIZADO							
Probeta	Mediciones	Fe	C	Si	Mg	Cu	La
330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA	1	91,5	< 5,4	1,824	>0,096	0,123	0,015
	2	91,95	< 5,4	3,543	>0,096	0,132	0,026
	3	92,33	< 5,4	3,892	>0,096	0,125	0,028
	4	91,67	< 5,4	1,999	>0,096	0,125	0,018
	5	91,43	< 5,4	2,346	>0,096	0,145	0,025
Promedio		91,78	< 5,4	2,7208	>0,096	0,130	0,022
OBSERVACIÓN				EVALUACIÓN			
Se realizó el ensayo de espectrometría con 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA. En los laboratorios de ensayo de materiales - FICM.				El porcentaje de Lantano (La) corresponde al recomendado (0,14% hasta 0,40%) al igual que el Magnesio (Mg) dentro del rango recomendado para la nodulización (0,01% - 0,2%). El porcentaje de Silicio (Si) está en el rango usado y recomendado 1,8 - 2,8 % al igual que el porcentaje de Cu que va de 0,1% a 0,2%. Tomar en cuenta que el porcentaje de C debería encontrarse entre 3-4% recomendado, aunque en este caso no se puede apreciar en los resultados.			
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran			Aprobado por:	Ing. Juan Paredes		
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas			Validado por:	Ing. Juan Paredes		

Fuente: Autor

3.8. Ensayo de dureza

Para el ensayo de dureza se utilizaron muestras de las probetas de tracción de liga SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA.

3.8.1. Proceso de ensayo de dureza

- ✓ El ensayo se realizó en el durómetro Laizhou Lyric (Modelo 200HBRV-187.5D) del laboratorio FICM.

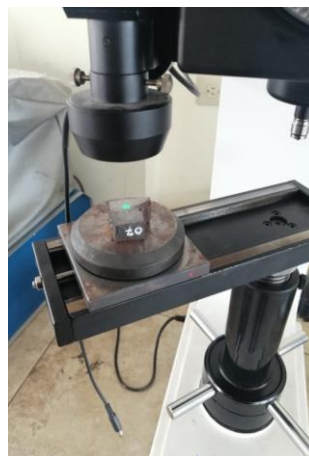
Figura 15. Preparación previa del durómetro Laizhou Lyric



Fuente: Autor

- ✓ Aplicar una carga de 187,5 N, colocar el indentador de 2,5mm y ensayar las probetas. La carga se mantendrá por un tiempo de 10 segundos, esperar a que el dispositivo de la alarma para poder retirar la carga y la probeta.

Figura 16. Colocación de muestra y aplicaciones carga.



Fuente: Autor

- ✓ Realizar 5 repeticiones en cada probeta.

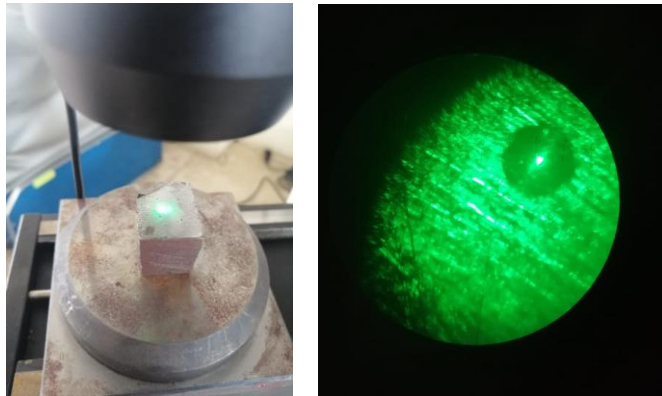
Figura 17. Obtencion de huella del identador en probetas.



Fuente: Autor

- ✓ Establecer los diámetros de la huella del identador en la probeta y realizar los respectivos cálculos para obtener la dureza Brinell. Tomar en cuenta que para el identador de 2.5mm se tiene un valor de corrección de $n=0.4$ se interpolara valores de la dureza en el caso de no encontrar el diámetro real en las tablas del fabricante.

Figura 18. Obtención de dimensiones de la huella del identador para cálculo de dureza Brinell.



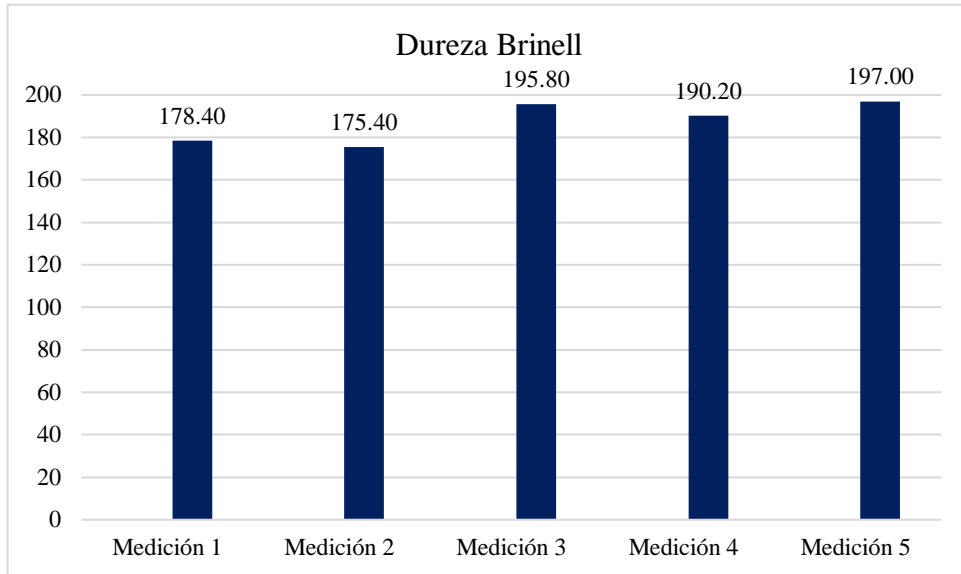
Fuente: Autor

3.8.2. Tabulación de resultados

Tabla 25. Dureza Brinell 1.1% liga SNAM MG9011 (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1 % liga SNAM MG9011									
ENSAYO DE DUREZA									
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM								
Máquina:	Durómetro Laizhou Lyric								
Fecha:	27/2/2020			Ciudad:	Ambato				
Responsable:	Sr. Jairo Villagran			Supervisado por:	Ing. Juan Paredes				
PARAMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA									
Método:	Brinell								
Tipo de penetrador:	Identador 2,5mm								
Carga:	187,5 N								
Tiempo de ensayo:	10 segundos								
Descripción del objeto de ensayo:	Hierro nodular								
Marca:	FUNDILASER								
DATOS Y RESULTADO DEL ENSAYO REALIZADO									
Mediciones	D1	D2	Valor medido (D2-D1)	Valor real del diámetro (Valor medido*n)	Interpolación				HBW
					Diámetro promedio del identador		Dureza Brinell		
					D/mm1	D/mm2	HBW1	HBW2	
Medición 1	2,99	5,8	2,81	1,124	1,1225	1,125	179,00	178,00	178,40
Medición 2	0,855	3,69	2,835	1,134	1,1325	1,135	176,00	175,00	175,40
Medición 3	0,415	3,11	2,695	1,078	1,0775	1,08	196,00	195,00	195,80
Medición 4	0,71	3,44	2,73	1,092	1,09	1,0925	191,00	190,00	190,20
Medición 5	2,03	4,78	2,75	1,100	-	-	-	-	197,00
							Promedio		187,36
							Desviación estándar		9,94
							Coefficiente de variación		0,053

GRAFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
<p>Se realizó el ensayo de dureza en la probeta con 330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1 % liga SNAM MG9011. En los laboratorios de ensayo de materiales - FICM.</p>		<p>Se obtuvo un promedio de dureza Brinell de 187,36</p>	
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

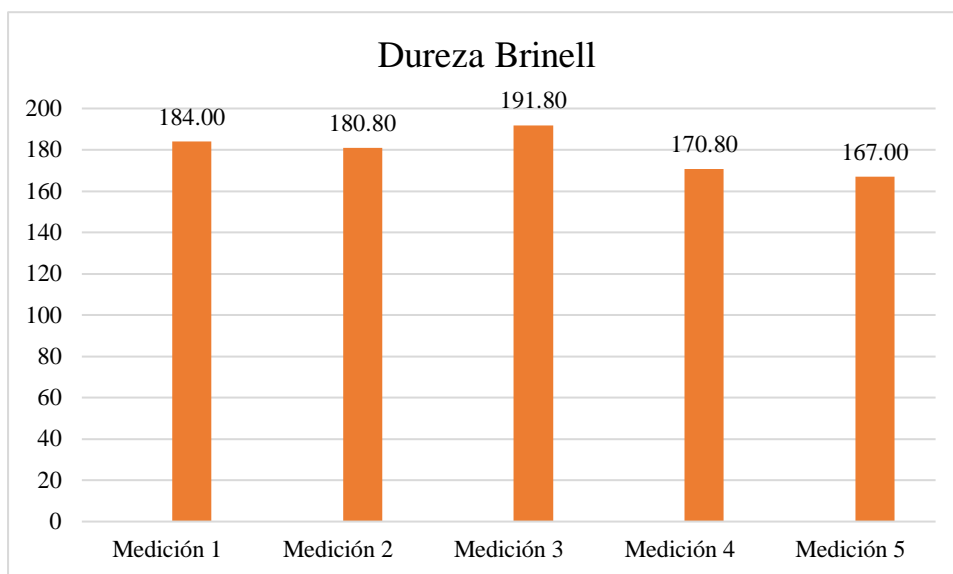
Fuente: Autor

Tabla 26. Dureza Brinell 1.3% liga SNAM MG9011 (300 kg Acero; 160 Retorno Fundi laser)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 									
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,3% liga SNAM MG9011									
ENSAYO DE DUREZA									
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM								
Máquina:	Durómetro Laizhou Lyric								
Fecha:	27/2/2020	Ciudad:	Ambato						
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Supervisado por:	Ing. Juan Paredes						
PARAMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA									
Método:	Brinell								
Tipo de penetrador:	Identador 2,5mm								
Carga:	187,5 N								
Tiempo de ensayo:	10 segundos								
Descripción del objeto de ensayo:	Hierro nodular								
Marca:	FUNDILASER								
DATOS Y RESULTADO DEL ENSAYO REALIZADO									
Mediciones	D1	D2	Valor medido (D2-D1)	Valor real del diámetro (Valor medido*n)	Interpolación				HBW
					Diámetro promedio del identador		Dureza Brinell		
					D/mm1	D/mm2	HBW1	HBW2	
Medición 1	1,03	3,81	2,78	1,11	-	-	-	-	184,00

Medición 2	2,34	5,13	2,80	1,12	1,12	1,12	181,00	180,00	180,80
Medición 3	1,76	4,48	2,72	1,09	1,09	1,09	192,00	191,00	191,80
Medición 4	1,51	4,38	2,87	1,15	1,15	1,15	171,00	170,00	170,80
Medición 5	1,80	4,70	2,90	1,16	-	-	-	-	167,00
							Promedio		178,88
							Desviación estándar		10,04
							Coefficiente de variación		0,056



GRAFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN		EVALUACIÓN	
Se realizó el ensayo de dureza en la probeta con 300 kg Acero + 160 Retorno + 1,3% liga SNAM MG9011. En los laboratorios de ensayo de materiales - FICM.		Se obtuvo un promedio de dureza Brinell de 178,88	
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

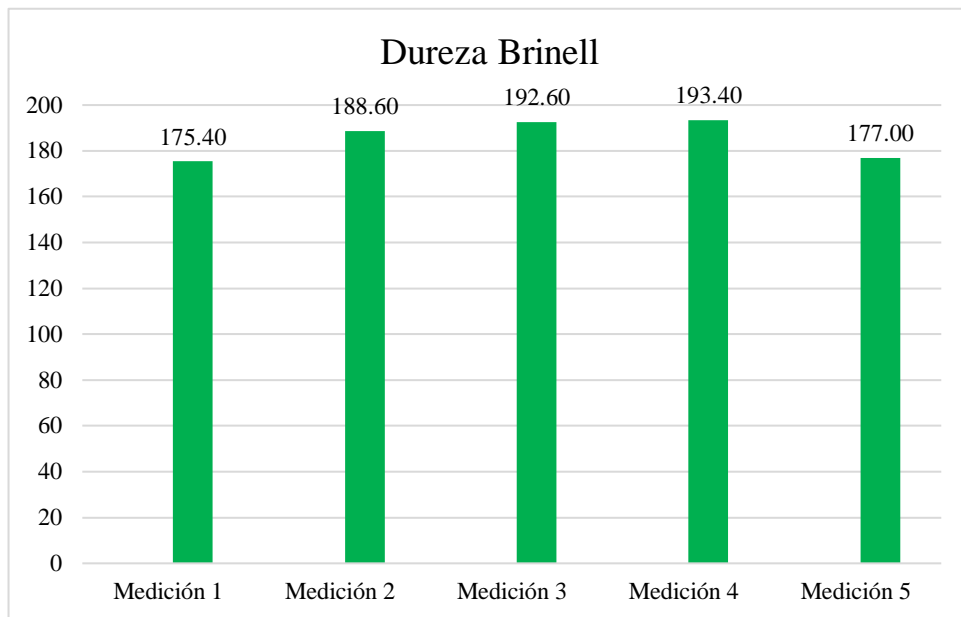
Fuente: Autor

Tabla 27. Dureza Brinell 1.5% liga SNAM MG9011 (360 kg Acero; 100 Retorno Fundi laser)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9011			
ENSAYO DE DUREZA			
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM		
Máquina:	Durómetro Laizhou Lyric		
Fecha:	27/2/2020	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Supervisado por:	Ing. Juan Paredes
PARAMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA			
Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2,5mm		
Carga:	187,5 N		
Tiempo de ensayo:	10 segundos		
Descripción del objeto de ensayo:	Hierro nodular		
Marca:	FUNDILASER		
DATOS Y RESULTADO DEL ENSAYO REALIZADO			

Mediciones	D1	D2	Valor medido (D2-D1)	Valor real del diámetro (Valor medido*n)	Interpolación				HBW
					Diámetro promedio del indentador		Dureza Brinell		
					D/mm1	D/mm2	HBW1	HBW2	
Medición 1	1,93	4,76	2,84	1,13	1,13	1,14	176,00	175,00	175,40
Medición 2	4,79	7,53	2,74	1,10	1,10	1,10	189,00	188,00	188,60
Medición 3	2,23	4,94	2,72	1,09	1,09	1,09	193,00	192,00	192,60
Medición 4	2,30	5,01	2,71	1,08	1,08	1,09	194,00	193,00	193,40
Medición 5	2,02	4,84	2,83	1,13	-	-	-	-	177,00
Promedio								185,40	
Desviación estándar								8,61	
Coefficiente de variación								0,05	

GRAFICA DE RESULTADOS





OBSERVACIÓN	EVALUACIÓN
Se realizó el ensayo de dureza en la probeta con 360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9011. En los laboratorios de ensayo de materiales - FICM.	Se obtuvo un promedio de dureza Brinell de 185,40

Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 28. Dureza Brinell 1.7% liga SNAM MG9011 (300 kg Acero; 160 Retorno Fundi laser)

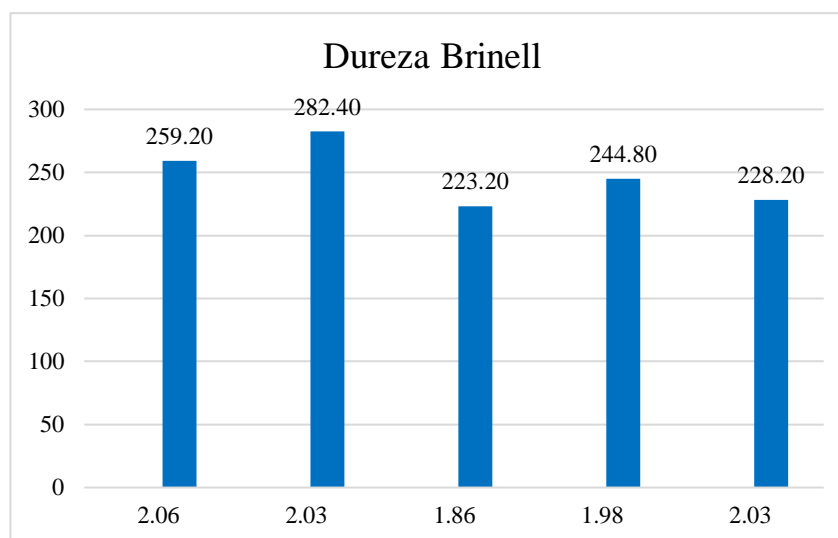
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO			
300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9011			
ENSAYO DE DUREZA			
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM		
Máquina:	Durómetro Laizhou Lyric		
Fecha:	27/2/2020	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Supervisado por:	Ing. Juan Paredes
PARAMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA			
Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2,5mm		

Carga:	187,5 N
Tiempo de ensayo:	10 segundos
Descripción del objeto de ensayo:	Hierro nodular
Marca:	FUNDILASER

DATOS Y RESULTADO DEL ENSAYO REALIZADO

Mediciones	D1	D2	Valor medido (D2-D1)	Valor real del diámetro (Valor medido*n)	Interpolación				HBW
					Diámetro promedio del indentador		Dureza Brinell		
					D/mm1	D/mm2	HBW1	HBW2	
Medición 1	2,06	4,41	2,36	0,94	0,94	0,94	260,00	259,00	259,20
Medición 2	2,03	4,29	2,26	0,90	0,90	0,91	283,00	282,00	282,40
Medición 3	1,86	4,39	2,53	1,01	1,01	1,01	224,00	223,00	223,20
Medición 4	1,98	4,40	2,42	0,97	0,97	0,97	245,00	244,00	244,80
Medición 5	2,03	4,53	2,51	1,00	1,00	1,00	229,00	228,00	228,20
							Promedio		247,56
							Desviación estándar		24,11
							Coefficiente de variación		0,10

GRAFICA DE RESULTADOS



OBSERVACIÓN

EVALUACIÓN

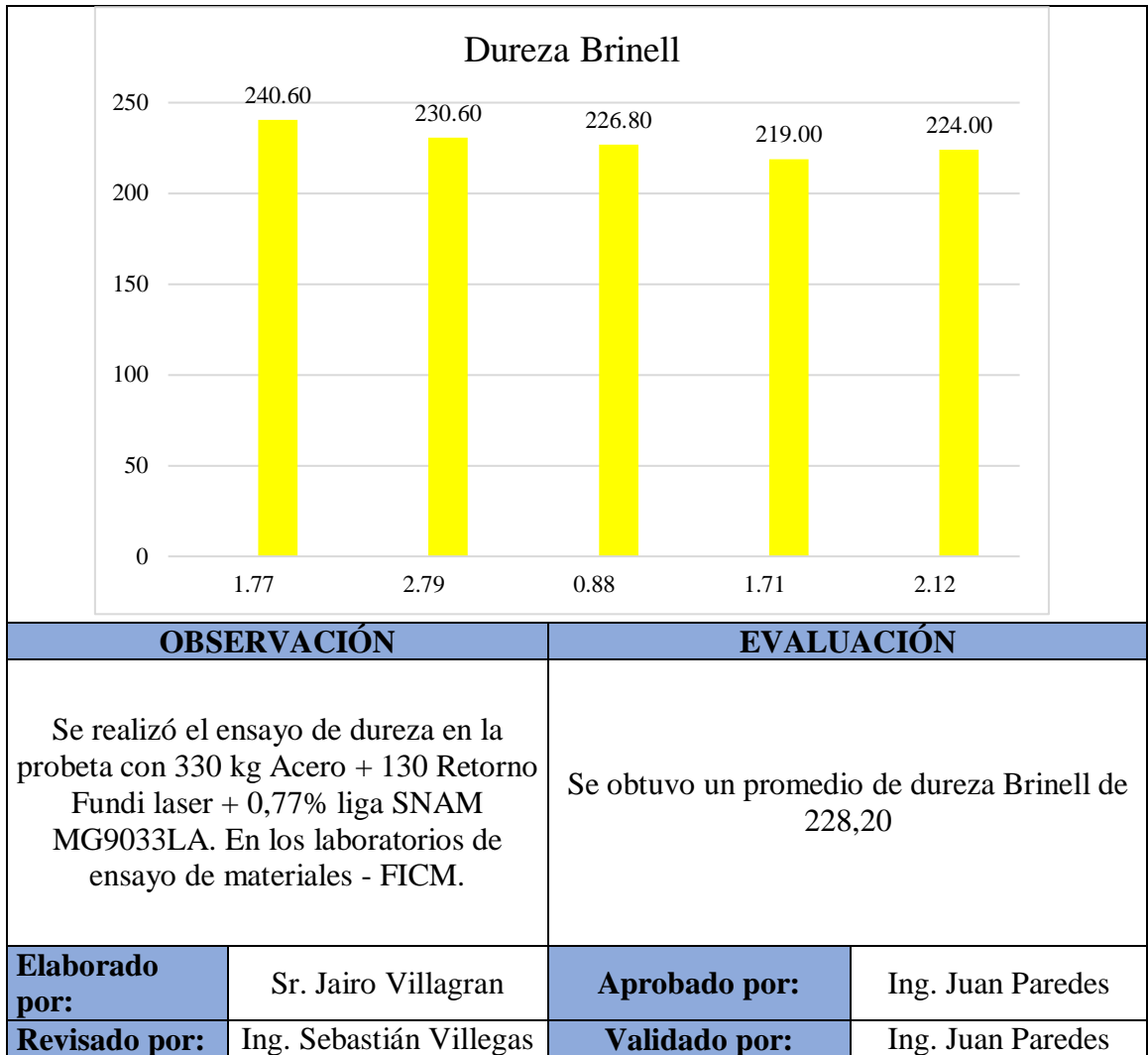
<p>Se realizó el ensayo de dureza en la probeta con 300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9011. En los laboratorios de ensayo de materiales - FICM.</p>		<p>Se obtuvo un promedio de dureza Brinell de 247,56</p>	
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 29. Dureza Brinell 0.77% liga SNAM MG9033LA (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser)

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 	
<p>EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA</p>	
<p>ENSAYO DE DUREZA</p>	
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM

Máquina:	Durómetro Laizhou Lyric								
Fecha:	27/2/2020			Ciudad:	Ambato				
Responsable:	Sr. Jairo Villagran			Supervisado por:	Ing. Juan Paredes				
PARAMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA									
Método:	Brinell								
Tipo de penetrador:	Identador 2,5mm								
Carga:	187,5 N								
Tiempo de ensayo:	10 segundos								
Descripción del objeto de ensayo:	Hierro nodular								
Marca:	FUNDILASER								
DATOS Y RESULTADO DEL ENSAYO REALIZADO									
Mediciones	D1	D2	Valor medido (D2-D1)	Valor real del diámetro (Valor medido*n)	Interpolación				HBW
					Diámetro promedio del identador		Dureza Brinell		
					D/mm1	D/mm2	HBW1	HBW2	
Medición 1	1,77	4,21	2,44	0,98	0,98	0,98	241,00	240,00	240,60
Medición 2	2,79	5,28	2,49	1,00	1,00	1,00	231,00	230,00	230,60
Medición 3	0,88	3,39	2,51	1,00	1,00	1,01	228,00	226,00	226,80
Medición 4	1,71	4,26	2,55	1,02					219,00
Medición 5	2,12	4,65	2,53	1,01					224,00
					Promedio				228,20
					Desviación estándar				8,12
					Coefficiente de variación				0,04
GRAFICA DE RESULTADOS									



Fuente: Autor

3.8.3. Análisis de Resultados

Se muestra a continuación un resumen de los ensayos de dureza.

Tabla 30. Resultados promedios ensayo de dureza.

kg acero + kg retorno + % liga	Dureza Brinell Promedio	Dureza Brinell ASTM A536 Clase 65-45-15
330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1% liga SNAM MG9011.	187,36	170 - 207
300 kg Acero + 160 Retorno + 1,3% liga SNAM MG9011.	178,88	
360 kg Acero + 100 Retorno + 1,5% liga SNAM MG9011.	185,40	
300 kg Acero + 160 Retorno + 1,7% liga SNAM MG9011.	247,56	
330 kg Acero + 130 Retorno + 0,77% liga SNAM MG9033LA	228,20	

Fuente: Autor

Se observa que la dureza Brinell de los porcentajes de liga SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA, cumplen los requerimientos de la norma ASTM A536 Clase 65-45-15. Dentro del grupo de liga SNAM MG9011 la que brinda mayor dureza es con 1,7% con una dureza de 247,56 Brinell, seguido por 1,1% de 187,36 Brinell que es el mejor porcentaje a usarse para la obtención de hierro nodular.

El incremento de dureza Brinell se debe al incremento en el porcentaje de liga SNAM MG9011. Analizado los resultados se tiene que la dureza Brinell disminuye al incrementar el porcentaje de acero para la obtención del hierro nodular, tal es el caso de 300 kg Acero + 160 Retorno + 1,3% liga SNAM MG9011 donde la dureza disminuye en comparación al 1,1% y 1,3% de liga SNAM MG9011.

El uso de 0,77% de liga SNAM MG9033LA permite obtener una mayor dureza, por tal motivo esta microaleación es la más recomendable ya que cumple con los requerimientos de dureza para el grado 65-45-12.

3.9. Ensayo de metalografía

El ensayo de metalografía se lo realizo para determinar los porcentajes de ferrita y grafito nodular, para cada configuración de porcentajes de liga SNAM MG9011 y SNAM MG9033LA.

3.9.1. Proceso para realizar ensayo de metalografía

- ✓ Obtención y encapsulado de muestras.

Figura 19. Preparación y obtención de probetas.



Fuente: Autor

- ✓ Lijado y pulido de probetas hasta que la cara quede libre de cualquier imperfección para observar en el microscopio.

Figura 20. Preparación de superficies de probetas.



Fuente: Autor

- ✓ Atacar probeta con Nital 2 durante aproximadamente 3 segundos, posteriormente lavar la superficie con agua.

Figura 21. Ataque químico de probetas con Nital 2.



Fuente: Autor

- ✓ Secar probeta con ventilador eléctrico y colocar en el microscopio de inspección metalúrgica Radical RMM-1

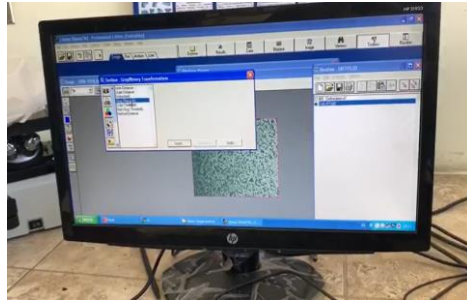
Figura 22. Observación de microestructura en microscopio.



Fuente: Autor

- ✓ Obtener las imágenes requeridas en el microscopio de inspección metalúrgica Radical RMM-1



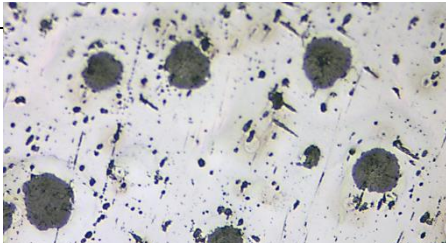
Figura 23. Obtención de imágenes de microestructura mediante software.



Fuente: Autor

3.9.2. Tabulación de resultados

Tabla 31. Metalografía 1.1% liga SNAM MG9011 (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 1,1 % liga SNAM MG9011			
ENSAYO DE METALOGRAFIA			
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM		
Máquina:	Microscopio de inspección metalúrgica Radical RMM-1		
Fecha:	3/3/2020	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Supervisado por:	Ing. Juan Paredes
PARAMETROS DE METALOGRAFIA			
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: FOTOGRAFIA MICROESTRUCTURA HIRRO NODULAR (200X)			
			

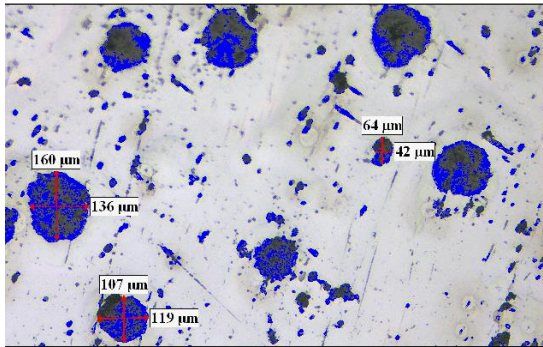
Grafito
nodular ←

→ Ferrita

Hierro fundido nodular (1,1 % liga SNAM MG9011 + 330 kg Acero + 130 Retorno) 200X, Nital 2. 2seg

EVALUACION DE MICROESTRUCTURA

Microestructura: Hierro fundido nodular



Determinación de tamaño de grano o láminas de grafito

Nódulo grande

$$\frac{160 + 136}{2} = 148 \mu\text{m}$$

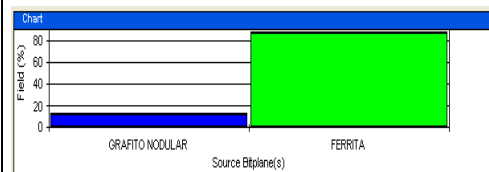
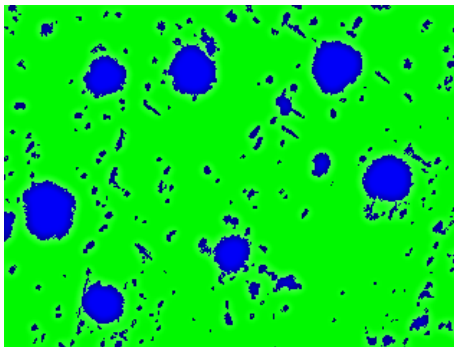
Nódulo mediano

$$\frac{107 + 119}{2} = 113 \mu\text{m}$$

Nódulo pequeño

$$\frac{64 + 42}{2} = 53 \mu\text{m}$$

PORCENTAJE DE CONSTITUYENTES



S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO NODULAR	12,7 (12,4)
FERRITA	87,6 (87,3)

INTERPRETACION DE RESULTADOS

Mediante el ensayo de metalografía utilizando software, obtuvimos nódulos de grafito de diferente tamaño, el de mayor tamaño 148 μm, el nódulo promedio 113 μm y el pequeño 53 μm. La composición del material es 12,7% de grafito nodular y 87,3% ferrita.

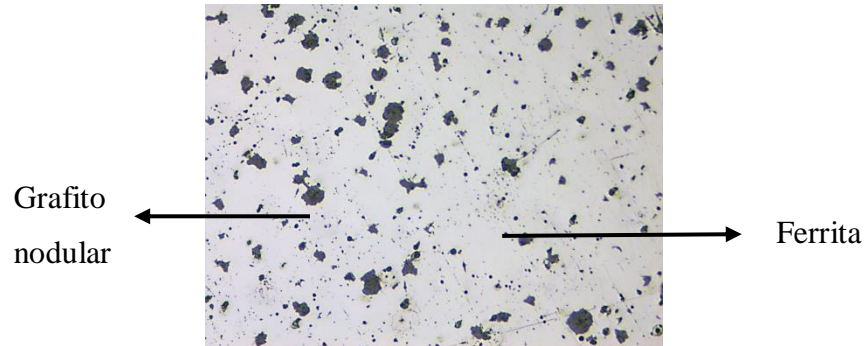
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 32. Metalografía 1.3% liga SNAM MG9011 (300 kg Acero; 160 Retorno Fundi laser)

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 			
<p>EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,3% liga SNAM MG9011</p>			
ENSAYO DE METALOGRAFIA			
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM		
Máquina:	Microscopio de inspección metalúrgica Radical RMM-1		
Fecha:	3/3/2020	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Supervisado por:	Ing. Juan Paredes
PARAMETROS DE METALOGRAFIA			
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		

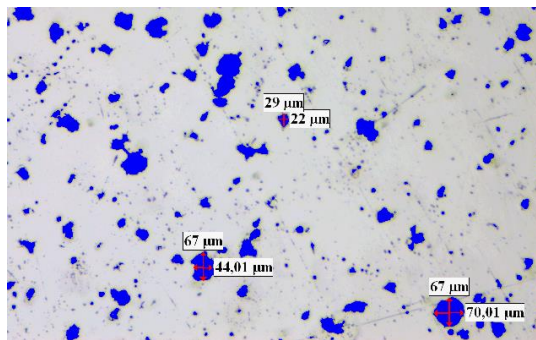
RESULTADOS: FOTOGRAFIA MICROESTRUCTURA HIRRO NODULAR (200X)



Hierro fundido nodular (1,3 % liga SNAM MG9011 + 300 kg Acero + 160 Retorno) 200X, Nital 2. 3seg

EVALUACION DE MICROESTRUCTURA

Microestructura: Hierro fundido nodular



Determinación de tamaño de grano o láminas de grafito

Nódulo grande

$$\frac{67 + 70,01}{2} = 137,01 \mu\text{m}$$

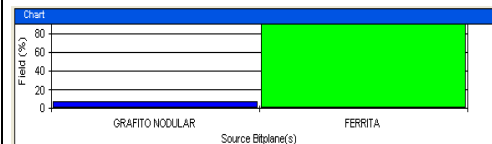
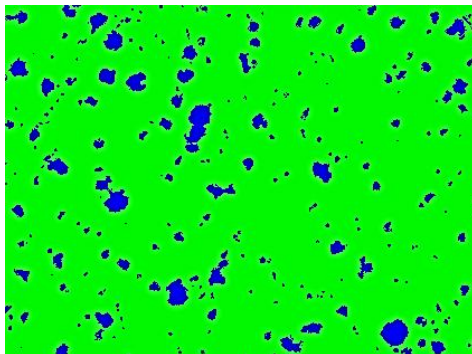
Nódulo mediano

$$\frac{67 + 44,01}{2} = 55,51 \mu\text{m}$$

Nódulo pequeño

$$\frac{29 + 22}{2} = 25,5 \mu\text{m}$$

PORCENTAJE DE CONSTITUYENTES



Component	Field (%)
GRAFITO NODULAR	7,4 (7,4)
FERRITA	92,8 (92,8)



INTERPRETACION DE RESULTADOS

Mediante el ensayo de metalografía utilizando software, obtuvimos nódulos de grafito de diferente tamaño, el de mayor tamaño 137,01 μm , el nódulo promedio 55,51 μm y el pequeño 25,5 μm . La composición del material es 7,4% de grafito nodular y 92,6% ferrita. Desde este porcentaje se puede apreciar que los nódulos de grafito disminuyen su tamaño y comienzan a perder su forma de esferoidal.

Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

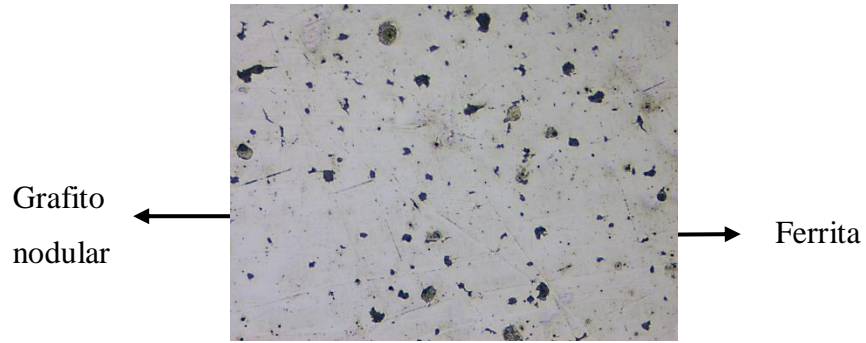
Tabla 33. Metalografía 1.5% liga SNAM MG9011 (360 kg Acero; 100 Retorno Fundi laser)

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 			
<p>EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 360 kg Acero + 100 Retorno Fundi laser + 1,5% liga SNAM MG9011</p>			
ENSAYO DE METALOGRAFIA			
Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM		
Máquina:	Microscopio de inspección metalúrgica Radical RMM-1		
Fecha:	3/3/2020	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Supervisado por:	Ing. Juan Paredes
PARAMETROS DE METALOGRAFIA			
Tipo de superficie:	Pulido Mecánico Tipo Espejo		
Temperatura:	28 °C		
Ataque químico:	Nital 2		

Tiempo de preparación de superficie:	30 min
---	--------

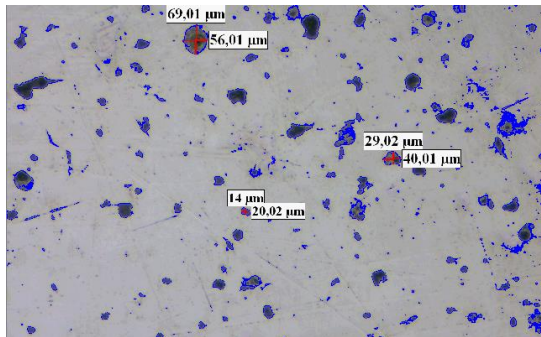
Duración de ensayo:	30 min
----------------------------	--------

RESULTADOS: FOTOGRAFIA MICROESTRUCTURA HIRRO NODULAR (200X)



Hierro fundido nodular (1,5 % liga SNAM MG9011 + 360 kg Acero + 100 Retorno) 200X, Nital 2. 3seg

EVALUACION DE MICROESTRUCTURA
Microestructura: Hierro fundido nodular



Determinación de tamaño de grano o láminas de grafito

Nódulo grande

$$\frac{69,01 + 56,01}{2} = 62,51 \mu\text{m}$$

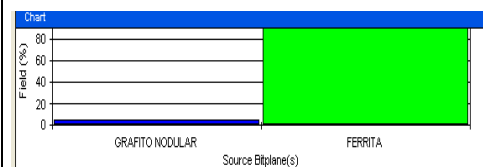
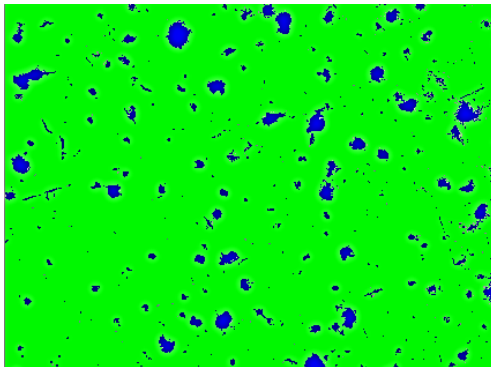
Nódulo mediano

$$\frac{29 + 40,01}{2} = 34,51 \mu\text{m}$$

Nódulo pequeño

$$\frac{14 + 20,02}{2} = 17,01 \mu\text{m}$$

PORCENTAJE DE CONSTITUYENTES





S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO NODULAR	5,4
FERRITA	94,2

INTERPRETACION DE RESULTADOS			
Mediante el ensayo de metalografía utilizando software, obtuvimos nódulos de grafito de diferente tamaño, el de mayor tamaño 62,51 μm , el nódulo promedio 34,51 μm y el pequeño 17,01 μm . La composición del material es 5,4% de grafito nodular y 94,2% ferrita. La disminución volumétrica de grafito en la matriz ferrítica es muy significativa. Además de la disminución de tamaño de los nódulos de grafito y su pérdida de forma.			
Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

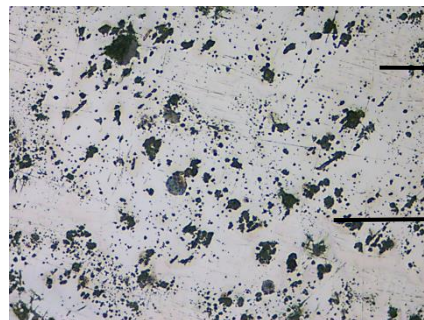
Fuente: Autor

Tabla 34. Metalografía 1.7% liga SNAM MG9011 (300 kg Acero; 160 Retorno Fundi laser)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 300 kg Acero + 160 Retorno Fundi laser + 1,7% liga SNAM MG9011					
ENSAYO DE METALOGRAFIA					
Lugar:		Laboratorio de ensayo de materiales - FICM			
Máquina:		Microscopio de inspección metalúrgica Radical RMM-1			
Fecha:		3/3/2020	Ciudad:		Ambato
Responsable:		Sr. Jairo Villagran	Supervisado por:		Ing. Juan Paredes
PARAMETROS DE METALOGRAFIA					

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: FOTOGRAFIA MICROESTRUCTURA HIRRO NODULAR (200X)



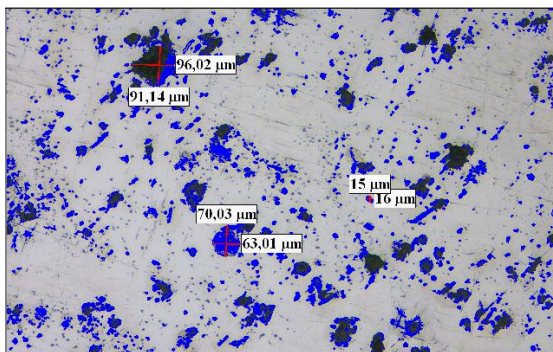
Ferrita

Grafito nodular

Hierro fundido nodular (1,7 % liga SNAM MG9011 + 300 kg Acero + 100 Retorno) 200X, Nital 2. 3seg

EVALUACION DE MICROESTRUCTURA

Microestructura: Hierro fundido nodular



Determinación de tamaño de grano o láminas de grafito

Nódulo grande

$$\frac{96,02 + 91,14}{2} = 93,58 \mu\text{m}$$

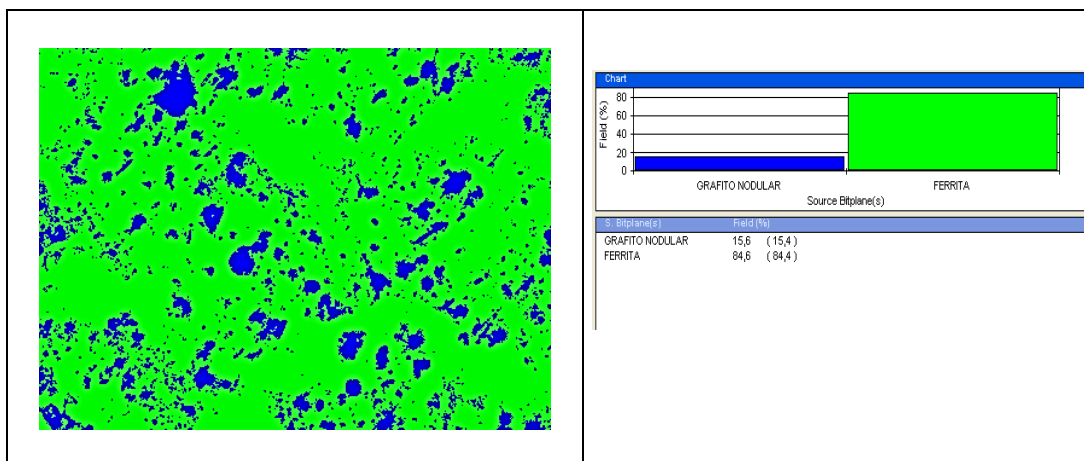
Nódulo mediano

$$\frac{70,03 + 63,01}{2} = 66,52 \mu\text{m}$$

Nódulo pequeño

$$\frac{15 + 16}{2} = 15,5 \mu\text{m}$$

PORCENTAJE DE CONSTITUYENTES



INTERPRETACION DE RESULTADOS

Mediante el ensayo de metalografía utilizando software, obtuvimos nódulos de grafito de diferente tamaño, el de mayor tamaño 93,58 μm , el nódulo promedio 66,52 μm y el pequeño 15,5 μm . La composición del material es 15,6 de grafito nodular y 84,6% ferrita. Los nódulos de grafito están dispersos y no se ha realizado una esferoidización adecuada debido al exceso de Mg en la composición química.

Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 35. Metalografía 0.77% liga SNAM MG9033LA (330 kg Acero; 130 Retorno Fundi laser)

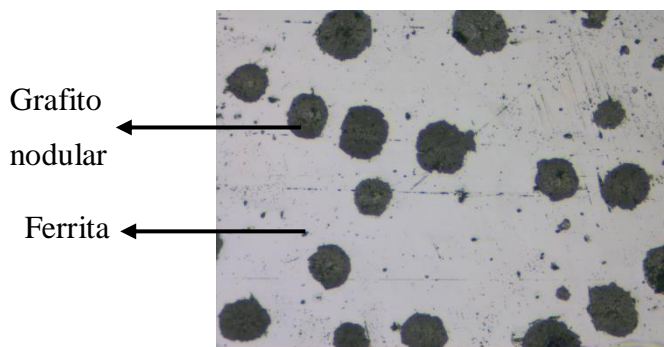
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL METÁLICO 330 kg Acero + 130 Retorno Fundi laser + 0,77% liga SNAM MG9033LA		
ENSAYO DE METALOGRAFIA		

Lugar:	Laboratorio de ensayo de materiales - FICM		
Máquina:	Microscopio de inspección metalúrgica Radical RMM-1		
Fecha:	3/3/2020	Ciudad:	Ambato
Responsable:	Sr. Jairo Villagran	Supervisado por:	Ing. Juan Paredes

PARAMETROS DE METALOGRAFIA

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

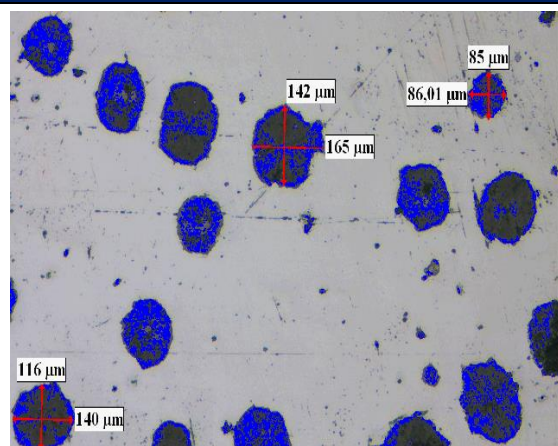
RESULTADOS: FOTOGRAFIA MICROESTRUCTURA HIRRO NODULAR (200X)



Hierro fundido nodular (0,77 % liga SNAM MG90331a + 330 kg Acero + 130 Retorno) 200X, Nital 2, 3seg

EVALUACION DE MICROESTRUCTURA

Microestructura: Hierro fundido nodular



Determinación de tamaño de grano o láminas de grafito

Nódulo grande

$$\frac{142 + 165}{2} = 153,5 \mu\text{m}$$

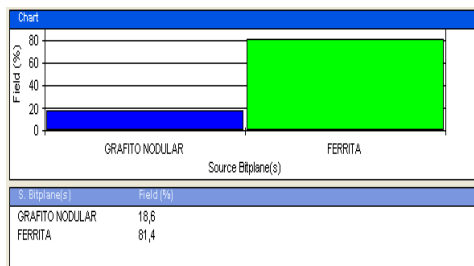
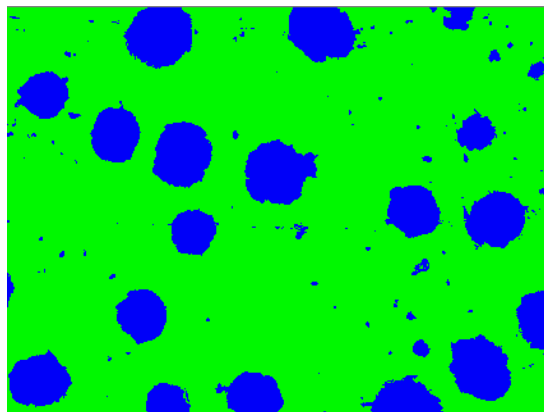
Nódulo mediano

$$\frac{116 + 140}{2} = 128 \mu\text{m}$$

Nódulo pequeño

$$\frac{85 + 86,01}{2} = 70,51 \mu\text{m}$$

PORCENTAJE DE CONSTITUYENTES



INTERPRETACION DE RESULTADOS

Mediante el ensayo de metalografía utilizando software, obtuvimos nódulos de grafito de diferente tamaño, el de mayor tamaño 153,5 μm , el nódulo promedio 128 μm y el pequeño 70,50 μm . La composición del material es 18,6% de grafito nodular y 81,4% ferrita. Existe una excelente esferoidización, formando los nódulos de grafito y están distribuidos por toda la matriz ferrítica del hierro nodular.

Elaborado por:	Sr. Jairo Villagran	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes
Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas	Validado por:	Ing. Juan Paredes

Fuente: Autor

3.10. Verificación de la hipótesis

La verificación de la hipótesis se realizó mediante la distribución T-student para las propiedades del material como resistencia a la tracción, límite de fluencia, porcentaje de elongación y dureza.

Se analizaran el grupo de 1,1% liga SNAM MG9011 y 0,77% liga SNAM MG9033LA para lo cual se plantearon las siguientes hipótesis.

Ho: Hipótesis Nula

Hi: Hipótesis Alternativa

Ho: La influencia de las microaleaciones SNAM MG9011 Y SNAMMG9033LA en el proceso de obtención de fundición nodular grado 65-45-12 de la norma NTE INEN 2499-2009) en la empresa Fundi Laser no mejorará las propiedades mecánicas.

Hi: La influencia de las microaleaciones SNAM MG9011 Y SNAMMG9033LA en el proceso de obtención de fundición nodular grado 60-45-12 de la norma NTE INEN 2499-2009) en la empresa Fundi Laser no 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%, mediante los datos de resistencia a la tracción, límite de fluencia y dureza. En el caso de elongación se utilizó un nivel de confianza del 90% y un nivel de significancia de 10% debido a que se poseen un número limitado de datos y cifras significativas.

Calculo de probabilidad, utilizando la ecuación (1)

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad (1)$$

Donde:

P= Probabilidad

α = Nivel de significancia

Remplazando:

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

$$P = 0,05$$

3.10.1. Calculo de distribución t de Student para resistencia a la tracción y verificación mediante programa estadístico informático.

Calculo de grados de libertad, utilizando la ecuación (2)

$$G1 = n - 1 \quad (2)$$

Donde:

G1= Grados de libertad

n= Números de muestra del 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 en la tabla de distribución de 2 colas T-Student.

$$t_{tab} = \pm 2,0150$$

Tabla 36. Datos base para la verificación de hipótesis de resistencia a la tracción

Probetas	N° de probetas	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la tracción grado 65-45-12 (MPa)	H	H ²
330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1% liga SNAM MG9011.	1	715,87	448,00	267,87	71754,34
	2	669,51	448,00	221,51	49066,68
	3	716,81	448,00	268,81	72258,82
	4	670,74	448,00	222,74	49613,11
330 kg Acero + 130 Retorno + 0,77% liga SNAM MG9033LA	5	683,51	448,00	235,51	55464,96
	6	673,71	448,00	225,71	50945,00
Σ				1442,15	349102,90
Promedio				240,36	

Fuente: Autor

Calculo de varianza, utilizando ecuación (3)

$$S^2 d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad (3)$$

Donde:

S²d = Desviación

H = Diferencia entre los datos

n = Número de datos

Reemplazando:

$$S^2d = \frac{349102,90 - \frac{(1442,15)^2}{6}}{6(6 - 1)}$$

$$S^2d = 82,34$$

$$Sd = 9,07$$

Calculo de T calculada, utilizando ecuación (4)

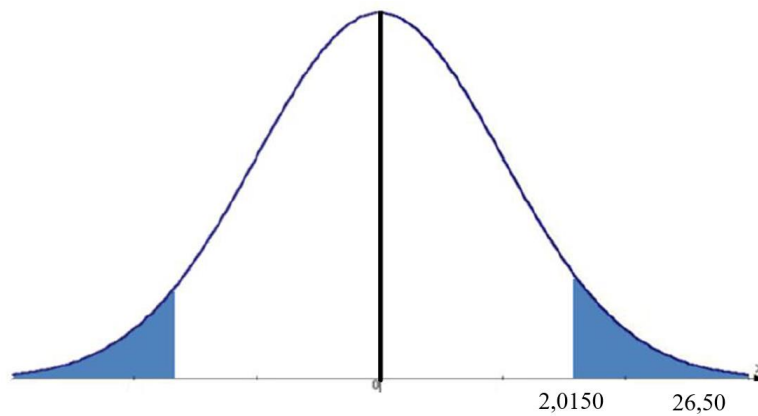
$$t_{cal} = \frac{H \text{ promedio}}{sd} \tag{4}$$

$$t_{cal} = \frac{240,36}{9,07}$$

$$t_{cal} = 26,50$$

$$t_{cal} = 26,50 > t_{tab} = 2,0150$$

Diagrama 9. Grafica T- Student. Resistencia a la tracción



Fuente: Autor

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

Tabla 37. Verificación de tcalculado para resistencia a la tracción

T-TEST
 /TESTVAL=448
 /MISSING=ANALYSIS
 /VARIABLES=Resistencia
 /CRITERIA=CI (.95) .

Prueba T

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Resistencia a la tracción	6	688,3583	22,22672	9,07402

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 448

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Resistencia a la tracción	26,489	5	,000	240,35833	217,0328	263,6838

Fuente: SPSS. Usuarios

Se verifica el $t_{cal} = 26,50$ y acepta hipótesis alterna.

3.10.2. Calculo de distribución t de Student para límite de fluencia y verificación mediante programa estadístico informático.

Tabla 38. Datos base para la verificación de hipótesis de límite a la fluencia.

Probetas	Nº de probetas	Límite de fluencia (MPa)	Límite de fluencia grado 65-45-12 (MPa)	H	H2
330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1% liga SNAM MG9011.	1	404,92	310,00	94,92	9009,81
	2	384,37	310,00	74,37	5530,90
	3	406,76	310,00	96,76	9362,50
	4	386,82	310,00	76,82	5901,31
330 kg Acero + 130 Retorno + 0,77% liga SNAM MG9033LA	5	389,65	310,00	79,65	6344,12
	6	419,56	310,00	109,56	12003,39
Σ				532,08	48152,03
Promedio				88,68	

Fuente: Autor

Calculo de varianza

$$S^2d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad (3)$$

Reemplazando

$$S^2d = \frac{48152,03 - \frac{(532,08)^2}{6}}{6(6-1)}$$

$$S^2d = 32,24$$

$$Sd = 5,68$$

T calculada

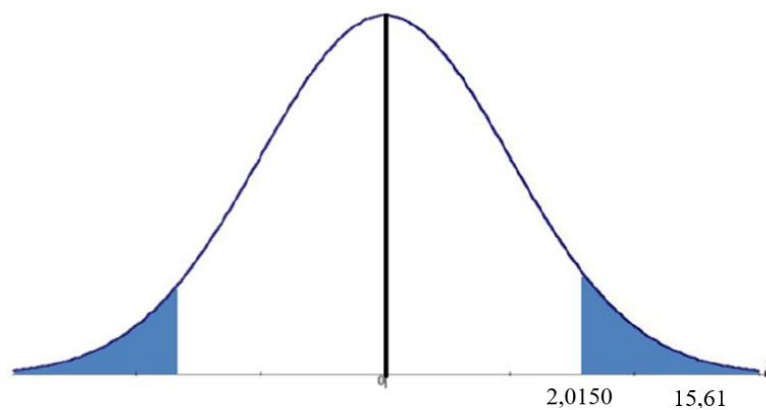
$$t_{cal} = \frac{H \text{ promedio}}{sd} \quad (4)$$

$$t_{cal} = \frac{88,68}{5,68}$$

$$t_{cal} = 15,61$$

$$t_{cal} = 15,61 > t_{tab} = 2,0150$$

Diagrama 10. Grafica T- Student. Límite de fluencia



Fuente: Autor

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

Tabla 39. Verificación de tcalculado para límite de fluencia.


```
T-TEST
  /TESTVAL=310
  /MISSING=ANALYSIS
  /VARIABLES=fluencia
  /CRITERIA=CI (.95).
```

Prueba T

[ConjuntoDatos0]

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
limite fluencia	6	398,680	13,9081	5,6780

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 310

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
limite fluencia	15,618	5	,000	88,6800	74,084	103,276

Fuente: Autor

Se verifica el $t_{cal} = 15,61$ y acepta hipótesis alterna.

3.10.3. Calculo de distribución t de Student para dureza Brinell.

$$G1 = n - 1 \quad (2)$$

Reemplazando:

$$G1 = 10 - 1$$

$$G1 = 9$$

Con los valores de la probabilidad de 0.05 y grados de libertad 9 se encuentra el valor t tabulado en la tabla de distribución de 2 colas T-Student.

$$t_{tab} = \pm 1,833$$

Tabla 40. Datos base para la verificación de hipótesis de dureza.

Probetas	N° de probetas	Dureza Brinell	Dureza Brinell grado 65-45-12 (desde 170 hasta 207 HBW)	H	H^2
330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1% liga SNAM MG9011.	1	178,40	170,00	8,40	70,56
	2	175,40	170,00	5,40	29,16
	3	195,80	170,00	25,80	665,64
	4	190,20	170,00	20,20	408,04
	5	197,00	170,00	27,00	729,00
330 kg Acero + 130 Retorno + 0,77% liga SNAM MG9033LA	6	240,60	170,00	70,60	4984,36
	7	230,60	170,00	60,60	3672,36
	8	226,80	170,00	56,80	3226,24
	9	219,00	170,00	49,00	2401,00
	10	224,00	170,00	54,00	2916,00
Σ				377,80	19102,36
Promedio				37,78	

Fuente: Autor

Calculo de varianza

$$S^2d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad (3)$$

Reemplazando

$$S^2d = \frac{19102,36 - \frac{(377,80)^2}{6}}{6(6-1)}$$

$$S^2d = 53,66$$

$$Sd = 7,33$$

T calculada

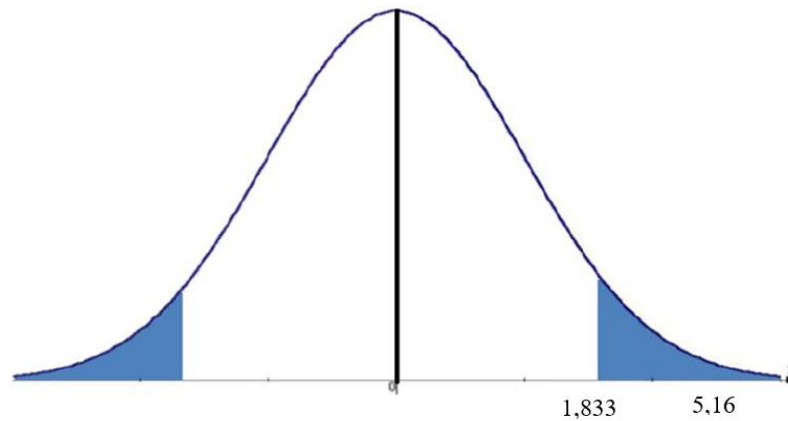
$$t_{cal} = \frac{H \text{ promedio}}{sd} \quad (4)$$

$$t_{cal} = \frac{37,78}{7,33}$$

$$t_{cal} = 5,16$$

$$t_{cal} = 5,16 > t_{tab} = 1,833$$

Diagrama 11. Grafica T- Student. Dureza Brinell.



Fuente: Autor

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

Tabla 41. Verificación de tcalculado para dureza Brinell.

```
T-TEST
/TESTVAL=170
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=dureza
/CRITERIA=CI (.95) .
```

➔ **Prueba T**

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
dureza	10	207,7800	23,16385	7,32505

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 170

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
dureza	5,158	9	,001	37,78000	21,2096	54,3504

Fuente: Autor

Se verifica el tcal= 5,16 y acepta hipótesis alterna.

3.10.4. Calculo de distribución t de Student para porcentaje de elongación.

$$G1 = n - 1 \quad (2)$$

Reemplazando:

$$G1=6-1$$

$$G1 = 5$$

Con los valores de la probabilidad de 0.1 y grados de libertad 9 se encuentra el valor t tabulado en la tabla de distribución de 2 colas T-Student.

$$t_{tab} = \pm 1,476$$

Tabla 42. Datos base para la verificación de hipótesis del porcentaje de elongación.

Probetas	N° de probetas	Porcentaje de Elongación (MPa)	Porcentaje de Elongación grado 65-45-12 (MPa)	H	H ²
330 kg Acero + 130 Retorno + 1,1% liga SNAM MG9011.	1	11,62	12,00	-0,38	0,14
	2	13,42	12,00	1,42	2,02
	3	11,18	12,00	-0,82	0,67
	4	12,7	12,00	0,70	0,49
330 kg Acero + 130 Retorno + 0,77% liga SNAM MG9033LA	5	17,8	12,00	5,80	33,64
	6	13,75	12,00	1,75	3,06
Σ				8,47	39,13
Promedio				1,41	

Fuente: Autor

Calculo de varianza

$$S^2d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad (3)$$

$$S^2d = \frac{39,13 - \frac{(8,47)^2}{6}}{6(6-1)}$$

$$S^2d = 0,90$$

$$Sd = 0,95$$

T calculada

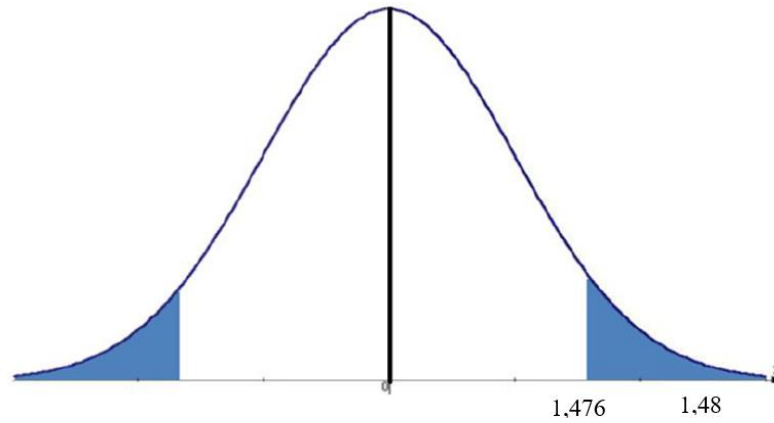
$$t_{cal} = \frac{H \text{ promedio}}{sd} \quad (4)$$

$$t_{cal} = \frac{1,41}{0,95}$$

$$t_{cal} = 1,48$$

$$t_{cal} = 1,48 > t_{tab} = 1,476$$

Diagrama 12. Grafica T- Student. Porcentaje de elongación.



Fuente: Autor

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

```
T-TEST
  /TESTVAL=12
  /MISSING=ANALYSIS
  /VARIABLES=elongacion
  /CRITERIA=CI (.90).
```

Prueba T

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
%elongacion	6	13,4250	2,35744	,96242

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 12

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	90% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
%elongacion	1,481	5	,199	1,42500	-,5143	3,3643

Fuente: Autor

Se verifica el tcal= 1,48 y acepta hipótesis alterna.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se observó que al realizar el tratamiento de esferoidización con la microaleación liga SNAM MG9011 del hierro nodular fundido en estado

líquido, presenta una reacción violenta en comparación a la microaleación liga SNAM MG9033LA.

- Se estableció a la microaleación liga SNAM MG9011 y MG9033LA como agentes esferoidizante en el proceso para obtención de hierro nodular, para obtener el grado 65-45-12 de la norma NTE INEN 2499:2009.
- Se determinó que al añadir 1.1% liga SNAM MG9011 con 330 kg acero y 130 retorno Fundi laser o también 0.77% liga SNAM MG9033LA con 330 kg acero y 130 retorno Fundi laser, mejoran las propiedades mecánicas para alcanzar el grado 65-45-12 de la norma NTE INEN 2499:2009.
- En los ensayos de tracción al grupo de probetas con 1.1% liga SNAM MG9011 bajo la norma NTE INEN-ISO 6892-1. Se obtuvo una resistencia a la tracción de 693.23 MPa, un límite de fluencia de 395.72 MPa y un porcentaje de elongación de 12.23%, cumpliendo con los requisitos para cubrir el grado 60-45-12 de la norma NTE INEN 2499:2009.
- En los ensayos de tracción al grupo de probetas 0.77% liga SNAM MG9033LA bajo la norma ASTM D.3. Se obtuvo una resistencia a la tracción de 678.61 MPa, un límite de fluencia de 404.61 MPa y un porcentaje de elongación de 15.78%, cumpliendo con los requisitos para cubrir el grado 60-45-12 de la norma NTE INEN 2499:2009.
- Una vez realizado el ensayo de espectrometría bajo la norma ASTM E 415 se determinó que la composición química del grupo con 1.1% liga SNAM MG9011 es de, 0.077 % de Mg, 92.82 % Fe, 2.786 % Si, 3.8 % C, 0.143 % Cu, 0.00238 % La y para el grupo con 0.77% liga SNAM MG9033LA es de, 0.077 % de Mg, 91.78 % Fe, 2.7208 % Si, 3.8 % C, 0.13 % Cu, 0.022 % La.
- La dureza Brinell obtenida de las probetas ensayadas bajo la norma ASTM E 10, para el grupo con 1.1% liga SNAM MG9011 es de 187.36 HBW y para el grupo con 0.77% liga SNAM MG9033LA es de 228.20 HBW.
- En el ensayo de metalografía, bajo la norma ASTM E 3 se obtuvo que en el grupo con 1.1% liga SNAM MG9011, tenemos una matriz 87,3% de ferrita y 12,7% de grafito nodular, donde el tamaño de los nódulos de grafito grandes es de 148 μm , el nódulo promedio 113 μm y el pequeño 53 μm . En el grupo con 0.77% liga SNAM MG9033LA tenemos una matriz 81,4% de ferrita y

18,6% de grafito nodular, donde el tamaño de los nódulos de grafito grandes es de 153,5 μm , el nódulo promedio 128 μm y el pequeño 70,50 μm .

- Comparando los grupos de liga SNAM MG9011, se tiene que al incrementar los porcentajes de liga, manteniendo un peso mayor de acero y menor de hierro nodular de retorno, se incrementa la resistencia a la tracción y dureza pero también disminuye el límite de fluencia y elongación
- El grupo de 0.77% de liga SNAM MG9033LA, proporciona las mejores propiedades mecánicas para el grado 65-45-12. Resistencia a la tracción 678.61 MPa, límite de fluencia 404.61 MPa, porcentaje de elongación 15.78% y dureza 228.20 HBW.
- Mediante el ensayo de metalografía utilizando software, obtuvimos nódulos de grafito de diferente tamaño, el de mayor tamaño 153,5 μm , el nódulo promedio 128 μm y el pequeño 70,50 μm . La composición del material es 18,6% de grafito nodular y 81,4% ferrita. Existe una excelente esferoidización, formando los nódulos de grafito y están distribuidos por toda la matriz ferrítica del hierro nodular.

4.2. Recomendaciones

- Se debe pesar correctamente las porciones de liga a usar, tomar en cuenta que los porcentajes establecidos van de acuerdo a la carga total de hierro nodular fundido.
- Para el uso de liga SNAM MG9033LA se debe usar el calculado de 0.77% de liga en la cual contiene 0.022% de lantano, ya que en una porción mayor al 0.040% de lantano se producen carburos e incluso en un porcentaje menor al 0.40% se podría formar fundición de grafito compacto o grafito vermicular.
- En el proceso de fundición utilizar en la carga total de fundición de un 70% a 75% de acero y su diferencia de hierro nodular de retorno Fundi laser, esto permite que el hierro nodular obtenido brinde las mejores propiedades mecánicas.
- La obtención de las secciones del bloque de quilla para las probetas se debe cortar con sierra y verificar que las probetas estén libres de rechupes y porosidades

- Comprobar las dimensiones de las probetas mecanizadas con las dimensiones establecidas por la norma ASTM E8.
- En el ensayo de dureza, tomar el diámetro exacto de la huella del indentador, para obtener resultados confiables una vez realizado el cálculo de dureza. Además verificar el valor de corrección de acuerdo al lente que se use.
- En el ensayo de espectrometría se debe calibrar el equipo con la probeta patrón para obtener resultados exactos una vez realizado el ensayo.

Bibliografía

- [1] A. Chamorro y C. Vasconez, «Nodulización,» de *Propuesta de Normalización y Caracterización de Hierro Nodular*, Sangolqui, Escuela Politecnica del Ejercito - ESPE, 2006, pp. 51 - 52.
- [2] H. Mejía, Á. Gómez, C. Silva y R. Aristizábal, «Producción de fundición nodular en el cubilote eco-eficiente de la Universidad de Antioquia,» *Facultad de Ingeniería*, pp. 80-94, 2002.
- [3] I. Asenjo, P. Larrañaga, J. Garay y J. Sertucha, «Influencia de la composición química de diferentes chatarras de acero sobre las propiedades mecánicas de la fundición con grafito esferoidal,» *Metalurgia*, pp. 307-318, 2011.
- [4] J. Fourmann, FerroPem y C. Ohio, «Lanthanum in Ductile Iron,» *Ductile Iron Society*, vol. VI, pp. 1-4, 2007.
- [5] M. Naranjo, 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: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2018.
- [6] J. William D. Callister, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de Materiales 1*, Barcelona : REVERTÉ, S.A., 2007.
- [7] W. F. Smith, *Fundamentos De La Ciencia E Ingeniería De Materiales Materiales*, Editora Concepción Fernández Madrid, 1999.
- [8] M. Proaño, DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL HIERRO DÚCTIL A TRAVÉS DEL HORNO DE CUBILOTE ARTESANAL SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA, Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE , 2014.
- [9] S. I. Karsay, «Tratamiento Esferoidizante,» de *Fundición con grafito Esferoidal - Producción*, Montreal-Canadá, Titane Inc., 1976, p. 254.
- [10] N. I. 2499:2009, «Fundición nodular (hierro dúctil). Requisitos.,» Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, 2009.

- [11] A. E8, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2013.
- [12] W. D. Callister., de *Propiedades Mecánicas de los Materiales en Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Barcelona, Reverte S.A, 1995, pp. 114-136.
- [13] F. D. d. Castillo, LECTURAS DE INGENIERÍA 3 - HIERROS FUNDIDOS, Cuautitlán Izcalli: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán - Departamento de Ingeniería , 2007, p. 27.
- [14] A. E10-01, «Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials,» American Society for Testing and Materials.
- [15] J. Gibson y K. Dmitri, «Simultaneous Determination of Metals in Coal with Low-Resolution Continuum Source Atomic Absorption Spectrometer and Filter Furnace Atomizer,» n° 64, pp. 79-87, 2011.
- [16] Química farmacéutica, «ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN CON FUENTE DE ARCO Y CHISPA,» 2015.
- [17] A. E415, Standard Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel, 2013.
- [18] A. E3-01, «Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens,» American Society for Testing and Materials.
- [19] I. Standar, ISO6892-1. Metallic Materials Tensile Testing. Part1: Method of test at room temperature, 2009.

Anexos

ANEXO A: Norma NTE INEN 2499:2009. Fundición nodular (Hierro nodular). Requisitos.

ANEXO B: Norma ASTM E3. Para la preparación de muestras para ensayo metalográfico.

ANEXO C: Norma ASTM E-8. Para ensayo de tracción de materiales metálicos.

ANEXO D: Norma NTE INEN - ISO 6892-1. Para ensayo de tracción de materiales metálicos, parte 1. Método de ensayo a temperatura ambiente.

ANEXO E: Norma ASTM E-10. Para ensayo de dureza Brinell de materiales metálicos.

ANEXO F: Tablas para cálculo de dureza Brinell, Durómetro Laizhou Lyric (Modelo 200HBRV-187.5D) del laboratorio FICM.

ANEXO G: Norma ASTM E415. Para el análisis espectrométrico de vacío de emisión óptica de carbono y acero de baja aleación.

ANEXO H: Informe de ensayo a tracción por parte del Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN.

ANEXO I: Resultados ensayo a tracción por parte del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

ANEXO J: Resultados Espectrometría Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica.

ANEXO K: Tabla T-student

ANEXO A



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
CIU: 3819
ICS: 77.140.80

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	FUNDICIÓN NODULAR (HIERRO DÚCTIL). REQUISITOS.	NTE INEN 2 499:2009 2009-05																													
<p>1. OBJETO</p> <p>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.</p> <p>2. ALCANCE</p> <p>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.).</p> <p>3. DEFINICIONES</p> <p>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:</p> <p>3.1.1 <i>Fundición de grafito esferoidal.</i> Hierro fundido cuyos elementos básicos son hierro y carbono, presentándose este último elemento, principalmente en forma de partículas esferoidales de grafito.</p> <p>3.1.2 <i>Tratamiento de esferoidización del grafito.</i> 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.</p> <p>4. CLASIFICACIÓN</p> <p>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.</p> <p style="text-align: center;">TABLA 1. Requerimientos de tensión</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="5" style="text-align: center;">GRADO</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">60-40-18</th> <th style="text-align: center;">65-45-12</th> <th style="text-align: center;">80-55-06</th> <th style="text-align: center;">100-70-03</th> <th style="text-align: center;">120-90-02</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistencia a la tracción mínimo (MPa)</td> <td style="text-align: center;">414</td> <td style="text-align: center;">448</td> <td style="text-align: center;">552</td> <td style="text-align: center;">689</td> <td style="text-align: center;">827</td> </tr> <tr> <td>Limite de fluencia mínimo (MPa)</td> <td style="text-align: center;">276</td> <td style="text-align: center;">310</td> <td style="text-align: center;">379</td> <td style="text-align: center;">483</td> <td style="text-align: center;">621</td> </tr> <tr> <td>Elongación en 50mm mínimo %</td> <td style="text-align: center;">18</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">6,0</td> <td style="text-align: center;">3,0</td> <td style="text-align: center;">2,0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;"><i>(Continúa)</i></p> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">DESCRIPTORES: Metalurgia, productos de hierro y acero, hierro dúctil, requisitos</p>				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
	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																										

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 requieren (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 templeado 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)

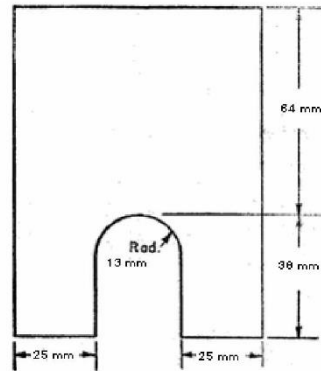
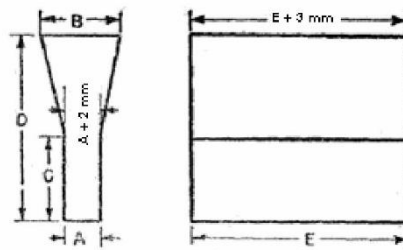


FIGURA 2. Bloque "Y"



(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

- 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.
- 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.
- Las probetas para ensayos serán fundidas en moldes abiertos con arena apropiada para machos.
- Las probetas de ensayo deben permanecer en el molde hasta que se hayan enfriado y presenten un color negro (aproximadamente 482 °C o menos).
- 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

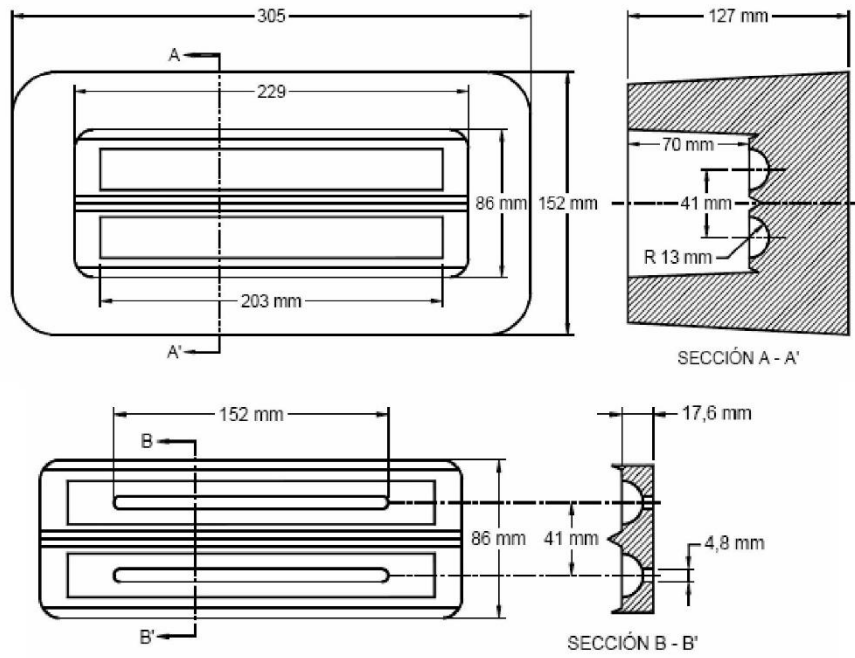
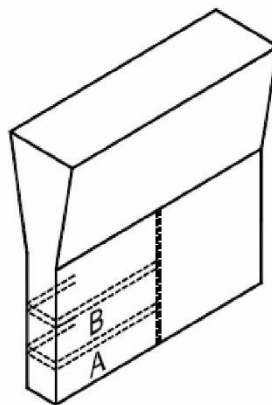


FIGURA 4. Procedimiento de seccionamiento para bloques "Y"

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.

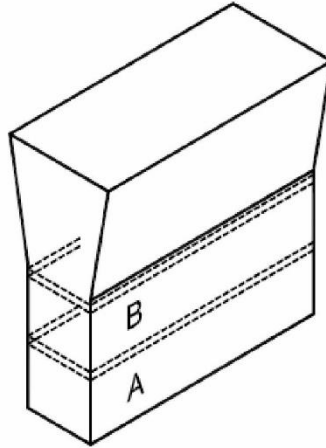
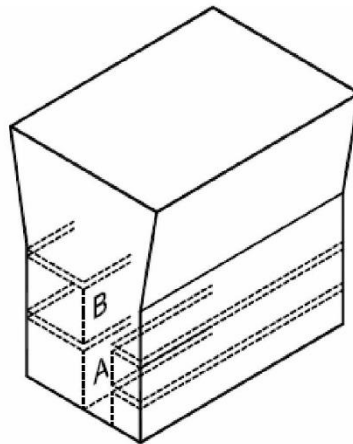


FIGURA 4 c) Bloque de 76.2 mm en forma de "Y". Dos ubicaciones para muestras de ensayo de tensión, con un diámetro de 12.7 mm



(Continúa)

FIGURA 5

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

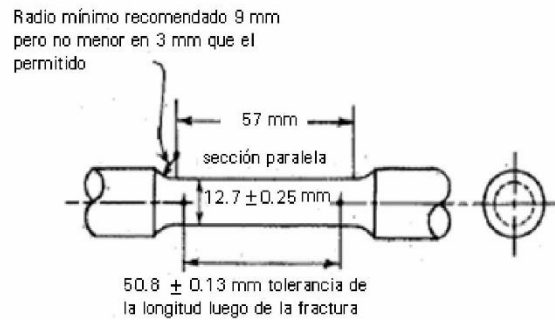
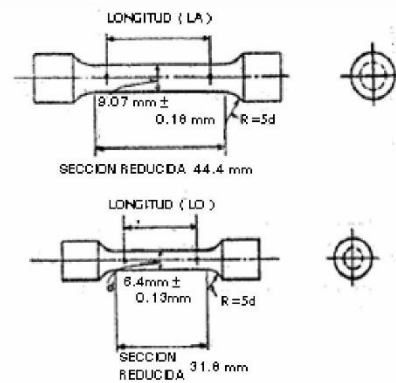


FIGURA 5 b) ejemplos de muestras pequeñas proporcionales a la muestra normalizada (*).



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
Integrantes del Subcomité Técnico:

Fecha de aprobación: 2008-07-16

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**

ANEXO B



Designation: E 3 – 95

An American National Standard

Standard Practice 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 reappraisal. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of the light 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 problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 1984.

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*:
- 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 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens²
- E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures²
- E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens²

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.

Current edition approved Jan. 15, 1995. Published March 1995. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 80 (1986).

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

3. Significance and Use

3.1 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.

3.2 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.

3.3 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.

4. Selection of Metallographic Specimens

4.1 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:

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

4.1.2 *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. Specimens should be taken in many cases from a sound area for a comparison of structures and properties.

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

4.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must

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

4.3 Cross sections or transverse sections taken perpendicular to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.3.1 Variations in structure from center to surface,

4.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,

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

4.3.4 Depth of surface imperfections,

4.3.5 Depth of corrosion,

4.3.6 Thickness of protective coatings, and

4.3.7 Structure of protective coating.

4.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.4.1 Inclusion content of steel (see Practice E 45),

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

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

4.4.4 The quality attained with any heat treatment.

4.5 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.

5. Size of Metallographic Specimens

5.1 The 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 round. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

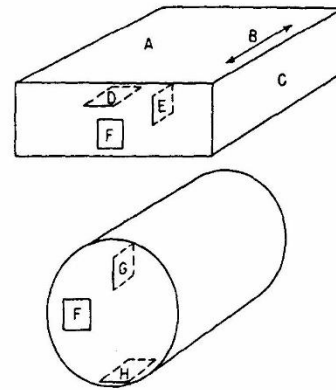
5.2 It is not always possible to secure specimens having the dimensions given in 5.1, when the material to be examined is smaller than the ideal dimensions. For example, in the polishing of wire, strip, and other small articles, it is necessary to mount the specimens because of their size and shape.

5.2.1 Larger samples may be mounted or not, as the available equipment dictates. However, the larger the specimen, the more difficult it is to prepare, especially by manual methods.

5.2.2 Specimens that are 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 Sections 7-9).

6. Cutting of Metallographic Specimens

6.1 In cutting the metallographic specimen from the main



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Rolled surface
B	Direction of rolling
C	Rolled edge
D	Longitudinal (or lengthwise) section parallel to rolled surface
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.

body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

6.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy and fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 35 HRC. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

6.1.2 An abrasive cut-off wheel will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off wheel, 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 overheat the specimen, producing an alteration of the microstructure. As a general rule, soft materials are cut with a hard bond wheel and hard materials with a soft bond wheel. Aluminum oxide abrasive wheels are preferred for ferrous metals and silicon carbide wheels are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off wheels are essential for sectioning metals with hardnesses above about 35 HRC. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting wheels. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of wheel and speeds.

6.1.3 Flame cutting completely alters the structure of the metal at the flame cut edge. If flame cutting is necessary to remove the specimen, it should be cut sufficiently large so that it can be recut to the proper size by some other method that will not substantially alter the structure. Exercise care to ensure that

the region of interest is not altered by the heat of the cutting flame.

6.2 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.

7. Cleanliness

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

7.2 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. The coating can be removed by digestion in cold nitric acid (HNO_3 , sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H_2SO_4) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO_3 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.

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

8. Mounting of Specimens

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

8.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two can be used to provide optimum results.

8.3 Mechanical Mounting:

8.3.1 Strip and sheet specimens are frequently mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts. Clamp mounting generally affords a means of rapid mounting with very good edge retention.

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

8.3.3 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.

8.3.4 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.

8.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a

layer of phenolic or epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

8.3.6 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.

8.3.7 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.

8.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimens; however, good sealing is required to prevent absorption of polishing materials or etchants.

8.4 Plastic Mounting:

8.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression mounting and castable.

8.4.2 When mounting specimens in plastic, exercise care in order to avoid rounding of specimen edges during the grinding operation. There are several methods available that prevent rounding. The specimens may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using casting resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen to prevent rounding. The specimens may also be plated before mounting (see Section 9).

8.4.3 *Compression Mounting*—Thermosetting plastics require the use of a mounting press providing heat (up to approximately 160°C) and pressure (up to approximately 30 MPa). *The finished mounts can be ejected hot but the best results are obtained when the finished mount is cooled under pressure.* There are three types of thermosetting compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory. Regardless of the resin used to compression mount specimens, the best results are obtained when (1) the specimens are clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 30°C before ejection from the press.

8.4.3.1 Wood-filled bakelite resins cure in 5 to 10 min, are relatively inexpensive, can be obtained in several colors, and are opaque. These resins have a tendency to pull away from the specimen leaving a crevice, which will trap liquids that later can smear, stain, and obscure a portion of the specimen.

8.4.3.2 Diallyl phthalate resins are less likely to shrink and are more resistance to attack by etchants. They are more expensive than the phenolic resins with about the same hardness.

8.4.3.3 Filled dry epoxy resins provide minimal shrinkage. Commercial resins intended for metallography are usually filled with hard material, minimizing edge rounding during preparation. These resins are the most expensive of the three types of thermosetting plastics. Cost can be reduced by first adding a layer of filled epoxy resin and filling up the remainder of the press cavity with phenolic resin.

8.4.3.4 Resins are used in a similar fashion. Because of the

hesive characteristics of the resins, a mold release agent should be applied to the surface of the mold. Do not apply the release agent to the specimen. The specimen is placed in a heated mold face down (the surface to be ground). The appropriate amount of resin is poured over the specimen, the mold is closed, and pressure is applied. The pressure is released at the end of the cure, the mold opened, and the finished mount ejected. As noted in 8.4.3, shrinkage can be minimized by cooling to room temperature under pressure. Modern automated mounting presses can apply pressure and heat, time the cure, and cool the mount under pressure.

8.4.3.5 Acrylic thermosetting resins produce transparent mounts. They require cooling under pressure. Heat and pressure must be carefully applied to avoid formation of "cotton ball" defects in the center of the mount.

8.4.4 *Castable Plastics*—Castable resins are used 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 three kinds of castable plastics in common use:

8.4.4.1 Acrylic resins consist of a powder and liquid, and cure rapidly (from 8 to 15 min) to a moderate hardness. These resins exhibit low abrasion resistance and a tendency to pull away from the specimen. They also tend to give off an unpleasant odor and enough heat during curing to alter the microstructure of some as-quenched steels.

8.4.4.2 Polyesters consist of two liquids, and cure to form water-clear mounts with little heat evolution, low shrinkage, and low hardness. The cure takes 1 to 3 h and the mixing ratio is critical. They are more expensive than the acrylic resins.

8.4.4.3 Epoxy resins have the best properties concerning transparency, heat generation, shrinkage, adhesion to the specimen, and hardness of the three castable resins. They are expensive. Cure times vary broadly, from 1 to 1½ h for some formulations to 4 to 8 h for others. Some formulations require cooling and others heating.

8.4.4.4 The molds for castable plastics are 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.

8.5 *Mounting Porous Specimen:*

8.5.1 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 into a vacuum chamber fitted with a funnel and a stopcock, or a similar commercially available evacuation device, so that the resin can be poured into the mold from outside. A low-viscosity resin will produce the best results but ordinary metallographic resins will work well. The vacuum chamber is then evacuated. The pressure in the chamber must remain above the critical vapor pressure of the hardener to avoid evaporating 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 fine pores, cracks, and holes. Very porous specimens

may be turned using a wooden applicator after opening to the atmosphere to ensure the impregnation of the face-down side. The surface to be polished must be returned to the down-side position before the resin starts to set.

8.5.2 If a low-viscosity resin is used, the funnel and stopcock may be eliminated. The resin is placed in the cup 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. Again, turn the specimen over to ensure impregnation of the bottom side. Remember to turn the specimen back over again before the resin starts to set.

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

8.5.4 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.

9. *Plating of Specimens*

9.1 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.

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

9.3 Thoroughly clean the specimen surface prior to plating so as 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.

9.4 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.

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

9.6 The plating material should be softer, but not much softer, than the specimen in order to avoid differential polishing that may mask the specimen edge. The plating material should not react electrolytically with the base metal of the specimen during plating, polishing, or etching.

9.7 Electroless plating is preferred to electrolytic plating for specimens with rough, porous, or irregular surfaces, because the electroless solution provides better surface coverage and penetration.

9.8 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. Grinding and Polishing

10.1 *General*—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, though, 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. Some composite materials, however, require lapping as a critical step when traditional approaches are not satisfactory. Supplies and instructions for grinding, lapping, and polishing are readily obtainable from laboratory supply houses.

10.2 *Grinding*—Grinding consists of two stages—rough and fine.

10.2.1 *Rough Grinding*—Rough grinding (180 grit and coarser) is used to accomplish the following:

10.2.1.1 Flatten an irregular or damaged cut surface,

10.2.1.2 Remove scale and other surface conditions prior to mounting,

10.2.1.3 Remove substantial amounts of specimen material to reach a desired plane for polishing,

10.2.1.4 Remove plastic mounting flash, level the mount surface, and bevel mount edges before fine grinding, and

10.2.1.5 Rough grinding may be performed on belts or rotating wheels. In some methods 45 or 30- μm diamond abrasives are used on hard platens.

10.2.2 *Fine Grinding*—In fine grinding, the specimen is ground on successively finer abrasive papers using water to wash away grinding debris and to act as a lubricant. The specimen should be cleaned between successive papers to prevent carryover of coarser abrasive.

10.2.2.1 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 of specimens to be done, financial considerations, and requirements such as flatness, uniformity, and so forth. Grinding on abrasive-coated rotating disks using hand-held specimens is the traditional method. Mechanical devices to hold the specimen against abrasive-covered rotating disks are becoming increasingly common. Many of these machines permit automated grinding, providing surfaces superior to hand-held specimens.

10.2.2.2 Grinding should start with the finest paper capable of flattening the specimen and removing the effects of prior operations, such as sectioning. The next paper should remove the effects of the prior paper in a short time. A typical sequence of papers might be 240, 320, 400, and 600-grit abrasive papers. Depending on the smoothness of the specimen surface, some of the coarser paper grades can be skipped.

10.2.2.3 In the hand-held methods, the specimen is rotated 90° between papers to determine when the prior set of scratches have been removed. The specimen should also be moved back and forth across the paper to prevent grooving of the specimen. At the end of the grinding on each paper, the surface of the specimen and its mount, if any, should be flat with one set of unidirectional grinding scratches.

10.2.2.4 Most of the devices for automatic grinding 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 scratch pattern now consists of random arcs. Deciding when the previous scratches have been removed is more difficult than with directional grinding. The specimen surface should show uniform scratches before proceeding to the next step. Cleaning between stages may be necessary to prevent carryover of abrasives and contamination of grinding surfaces. Manufacturer's instructions will include suggested machine settings for grinding various metals.

10.2.2.5 After all grinding is done, the specimen must be cleaned thoroughly. Ultrasonic cleaning in a water-detergent bath is recommended. In hand operations, the hands must be washed also, exercising care to clean beneath fingernails.

10.3 *Polishing*—Polishing is usually distinguished from grinding by the use of loose abrasive 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.

10.3.1 The use of graded diamond paste or suspensions as the abrasive can reduce the number of combinations markedly. Those supports most commonly used are non-napped cloths such as nylon or nonwoven textiles available for metallographic purposes.

10.3.2 The final polish may be 1- μm diamond abrasive. For high-resolution work, this diamond polish may be followed by polishing on a short nap synthetic suede using an aqueous suspension of 0.05- μm gamma alumina or colloidal silica. Other abrasives and supports often are required depending on the particular task in hand. This step should be kept to the shortest time possible to prevent edge rounding, pitting, or other artifacts. Twenty to forty seconds should be sufficient if the previous steps have been correctly performed.

10.3.3 Careful cleaning of the specimen between stages is mandatory to prevent contamination by coarser abrasive. Ultrasonic cleaning is recommended between each polishing step.

10.3.4 The polishing operations may be conducted by hand or by automatic methods.

10.3.4.1 Hand methods consist of holding the specimen by hand against an abrasive-charged rotating wheel and moving the specimen in an elliptical path around the wheel against the direction of rotation of the wheel. The specimen should be held firmly in contact with the wheel. Just how firm and just how fast to go around the wheel is a matter of experience and personal preference. In the preparation of advanced materials, the operating parameters must be strictly controlled.

10.4 *Automatic Grinding and Polishing:*

10.4.1 Many styles of automatic specimen preparation machinery are available. The most common units can perform all grinding and polishing steps. They use disk fixtures accommodating multiple specimens; the specimens remain in the fixture throughout the preparation. Major advantages in using automatic grinding and polishing procedures are the consistent quality of specimen preparation and the substantial decrease in time required for preparing large number of specimens. Careful attention to cleanliness and prevention of cross-contamination from abrasives and residues between steps, particularly in

polishing, is required. Ultrasonic cleaning is recommended.

10.4.2 An initial coarse-grinding step is required to make all specimen surfaces co-planar and parallel to the fixture. This step is usually used to remove damage to the specimens from sectioning operations. Fine grinding uses either a graded abrasive paper series or a single step with an intermediate (9 or 6 μm) diamond abrasive on a permanent, grooved wheel to prepare the specimens for polishing. As an alternative, lapping platens may be used to replace the finegrinding paper sequence. This approach offers the greatest benefits when very hard or highly dissimilar materials must be prepared.

10.4.3 One polishing step will often suffice for examination up to 100X, using a 3 or 1- μm diamond abrasive on napless cloth. Two steps will suffice for almost all requirements, with the second step using a finer diamond on a napless or low-nap cloth. A third step with fine alumina or colloidal silica on a low-nap cloth can be used for final polishing but relief polishing will be encountered proportionate to the specimen load and polishing time used.

11. Special Procedures

11.1 Occasionally, every metallographer is faced with the preparation of unusual specimens or with special situations. Anticipation of every possible situation is, of course, impossible but some guidance can be offered. Common sense is imperative.

11.1.1 Electrolytic polishing produces totally 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.

11.1.2 Vibratory polishing produces excellent results on a number of alloys. Although slow, a number of specimens can be prepared simultaneously, resulting in a high through-put. It is especially advantageous for soft materials.

11.2 *Porous Specimens*—Specimens with continuous or open pores can be vacuum-impregnated with plastic or some other liquid that will solidify. 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 a liquid mounting compound, usually the same material used to mount the specimen, to seal the pores. After hardening, the last fine-grinding stage is repeated to remove the excess material, and specimen preparation is continued as usual. The choice of liquid for impregnation or sealing depends on the nature of the sample. It should, of course, be inert toward the specimen.

11.2.1 Impregnation can be accomplished by vacuum impregnation (see 8.4.4.5 through 8.4.4.8) in the specimen.

11.3 *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 defects (scratches) or rounded edges. If automatic methods are available, high-polishing pressures

and high-nap substrates may provide an alternative method.

11.4 Coated Materials:

11.4.1 Coated metals, such as galvanized steel, electroplated 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).

11.4.2 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.

11.4.3 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. 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.

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

11.5 Fragile specimens should be mounted in one of the liquid cold mounting formulations. Vacuum impregnation will ensure filling of holes and cavities (see section 8.4.4.5). Thin walls can be reinforced by electroless nickel plating, which will alleviate the rounding problem.

11.6 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.

12. Precision and Bias

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

13. Keywords

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

APPENDIX

(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, there are several approaches that can be used. Always try the simplest, safest methods first. 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 washing 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 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.

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., 350 Frontage Rd., 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, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts that are to be Examined by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463-472.

^B Dahlberg, E. P., "Techniques for Cleaning Service Failures in Preparation for Scanning Electron Microscope and Microprobe Analysis," *Scanning Electron Microscopy*, 1974, Part IV, pp. 911-918.

^C Brooks, C. E., and Lundin, C. D., "Rust Removal from Steel Fractures—Effect on Fractographic Evaluation," *Microstructural Science*, Vol 3A, Elsevier, NY, 1975, pp. 21-33.

^D deLeiris, H., et al, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts That Are to be Estimated by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463-472.

^E Russ, J. C., and Miller, G. A., "Effect of Oxidization on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel," *JISI*, December 1969, pp. 1635-1638.

^F Pickwick, K. M., and Smith, E., "The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations," *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224-237.

^G Interrante, C. G., and Micho, G. E., "Removal of Iron-Sulfide Deposits from Fracture Surfaces," *ASTM STP 610*, 1976, pp. 349-365.

^H Beachem, C. D., *The Interpretation of Electron Microscope Fractographs*, NRL Report 6360, U.S. Government Printing Office, Jan. 21, 1966.

^I Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., "An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials," *Prakt. Met.*, Vol 15, April 1978, pp. 184-195.

^J Goubau, B., and Werner, H., "Microfractographic Investigation of Fracture Surfaces Coated With Magnetite," *Prakt. Met.*, Vol 17, No. 5, May 1980, pp. 209-219.

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 1, 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 five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO C



Designation: E8/E8M – 13a

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

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E8/E8M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

1. Scope*

1.1 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.

1.2 The gauge lengths for most round specimens are required to be 4D for E8 and 5D for E8M. The gauge length is the most significant difference between E8 and E8M test 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.

1.3 Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A370 and Test Methods B557, and B557M.

1.4 Room temperature shall be considered to be 10 to 38°C [50 to 100°F] unless otherwise specified.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as separate from inch/pound units. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

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

¹ 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 July 1, 2013. Published August 2013. Originally approved in 1924. Last previous edition approved 2013 as E8/E8M – 13. DOI: 10.1520/E0008_E0008M-13A.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- A356/A356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines
- A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- B557 Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products
- B557M Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products (Metric)
- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil
- E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application
- D1566 Terminology Relating to Rubber
- E1856 Guide for Evaluating Computerized Data Acquisition Systems Used to Acquire Data from Universal Testing Machines

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Common to Mechanical Testing—

3.1.1 The definitions of mechanical testing terms that appear in the Terminology E6 apply to this test method.

² 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 Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright ASTM International
provided by IHS under license with ASTM
reproduction or networking permitted without license from IHS

Sold to: NW PA Reg Plann and Dev Co, 811794
Not for Resale, 09/25/2013 09:03:44 MDT

3.1.1.1 These terms include bending strain, constraint, elongation, extensometer, force, gauge length, necking, reduced section, stress-strain diagram, testing machine, and modulus of elasticity.

3.1.2 In addition, the following common terms from Terminology E6 are defined:

3.1.3 *discontinuous yielding, n*—in a uniaxial test, a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding.

3.1.3.1 *Discussion*—The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.

3.1.4 *elongation after fracture, n*—the elongation measured by fitting the two halves of the broken specimen together.

3.1.5 *elongation at fracture, n*—the elongation measured just prior to the sudden decrease in force associated with fracture.

3.1.6 *lower yield strength, LYS [FL⁻²]*—in a uniaxial test, the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.7 *reduction of area, n*—the difference between the original cross-sectional area of a tension test specimen and the area of its smallest cross section.

3.1.7.1 *Discussion*—The reduction of area is usually expressed as a percentage of the original cross-sectional area of the specimen.

3.1.7.2 *Discussion*—The smallest cross section may be measured at or after fracture as specified for the material under test.

3.1.7.3 *Discussion*—The term reduction of area when applied to metals generally means measurement after fracture; when applied to plastics and elastomers, measurement at fracture. Such interpretation is usually applicable to values for reduction of area reported in the literature when no further qualification is given. **(E28.04)**

3.1.8 *tensile strength, S_t [FL⁻²]*, *n*—the maximum tensile stress that a material is capable of sustaining.

3.1.8.1 *Discussion*—Tensile strength is calculated from the maximum force during a tension test carried to rupture and the original cross-sectional area of the specimen.

3.1.9 *uniform elongation, El_u [%]*—the elongation determined at the maximum force sustained by the test piece just prior to necking or fracture, or both.

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

3.1.10 *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.

3.1.11 *yield point elongation, YPE, n*—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.

3.1.11.1 *Discussion*—If the transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of inflection. If there is no

point at or near the onset of yielding at which the slope reaches zero, the material has 0 % YPE.

3.1.12 *yield strength, YS or S_y [FL⁻²]*, *n*—the engineering stress at which, by convention, it is considered that plastic elongation of the material has commenced.

3.1.12.1 *Discussion*—This stress may be specified in terms of (a) a specified deviation from a linear stress-strain relationship, (b) a specified total extension attained, or (c) maximum or minimum engineering stresses measured during discontinuous yielding.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *referee test, n*—test made to settle a disagreement as to the conformance to specified requirements, or conducted by a third party to arbitrate between conflicting results. **D1566, D11.08**

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 E4. 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 E4.

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 gauge 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 1—The effect of this eccentric force application may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard 12.5-mm [0.500-in.] diameter specimen, the stress increase is 1.5 percentage points for each 0.025 mm [0.001 in.] of eccentricity. This error increases to 2.5 percentage points/ 0.025 mm [0.001 in.] for a 9 mm [0.350-in.] diameter specimen and to 3.2 percentage points/ 0.025 mm [0.001 in.] for a 6-mm [0.250-in.] diameter specimen.

NOTE 2—Alignment methods are given in Practice E1012.

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 E83 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 gauge lengths equal to or shorter than the nominal gauge length of the specimen (dimension shown as “*G*-Gauge Length” in the accompanying figures) may be used to determine the yield behavior. For specimens without a reduced section (for example, full cross sectional area specimens of wire, rod, or bar), the extensometer gauge 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 gauge length of the extensometer shall be equal to the nominal gauge 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 40 mm [1.500 in.] or less in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.2.2 Midway from the center to the surface for products over 40 mm [1.500 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.

NOTE 3—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 gauge 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 gauge length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens described in the following sections.

6.1.4 Specimen Surface Finish—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface finish of the test specimens should be as provided in the applicable product specifications.

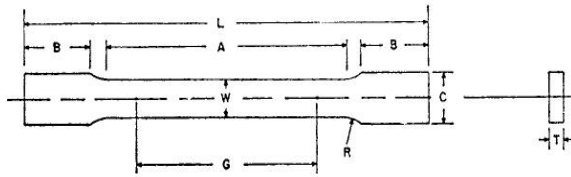
NOTE 4—Particular attention should be given to the uniformity and quality of surface finish of specimens for high strength and very low ductility materials since this has been shown to be a factor in the variability of test results.

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 5 mm [0.188 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 0.13 to 19 mm [0.005 to 0.750 in.]. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.2, 6.4, and 6.5.

ASTM E8/E8M - 13a



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T—Thickness (Note 5)	[1.500 ± 0.125, -0.250]	[0.500 ± 0.010]	[0.250 ± 0.005]
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

NOTE 1—For the 40 mm [1.500 in.] wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 25 mm [1 in.] apart, or one or more pairs of punch marks 200 mm [8 in.] apart may be used.

NOTE 2—When elongation measurements of 40 mm [1.500 in.] wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 75 mm [2.25 in.] may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.10, 0.05 or 0.02 mm [0.004, 0.002 or 0.001 in.], respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 1 % larger than the width at the center.

NOTE 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used.

NOTE 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 40 mm [1.500 in.] wide specimens shall be 5 mm [0.188 in.]. Maximum thickness of 12.5 and 6 mm [0.500 and 0.250 in.] wide specimens shall be 19 and 6 mm [0.750 and 0.250 in.], respectively.

NOTE 6—For the 40 mm [1.500 in.] wide specimen, a 13 mm [0.500 in.] minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 690 MPa [100 000 psi] in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

NOTE 7—The dimension shown is suggested as a minimum. In determining the minimum length, the grips must not extend in to the transition section between Dimensions A and B, see Note 9.

NOTE 8—To aid in obtaining axial force application during testing of 6-mm [0.250-in.] wide specimens, the overall length should be as large as the material will permit, up to 200 mm [8.00 in.].

NOTE 9—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of 12.5 mm [0.500-in.] wide specimens is over 10 mm [0.375 in.], longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10—For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 2.5, 1.25 and 0.13 mm [0.10, 0.05 and 0.005 in.], respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the 12.5 mm [0.500 in.] wide specimen shall be symmetrical within 0.2 mm [0.01 in.].

NOTE 11—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 1.25 mm [0.05 in.], and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 2.5 mm [0.10 in.].

NOTE 12—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2 W from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. In acceptance testing, if the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 1 Rectangular Tension Test Specimens

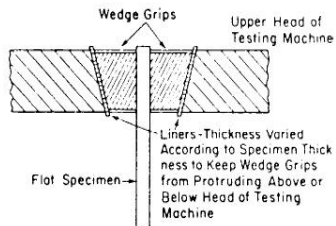


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

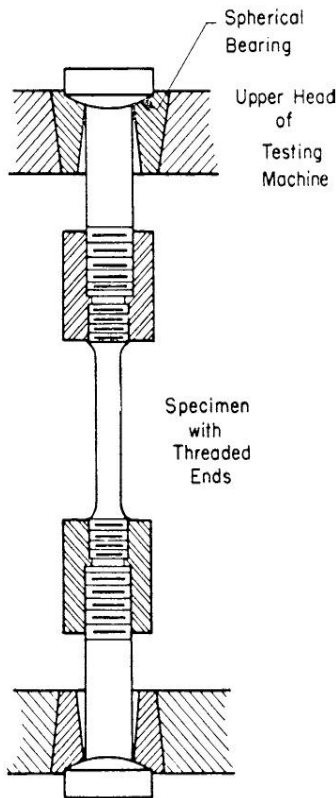


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

NOTE 5—Test Methods E345 may be used for tension testing of materials in thicknesses up to 0.15 mm [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 12.5-mm [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

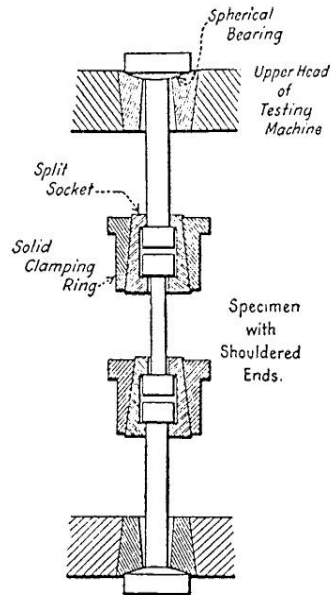


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

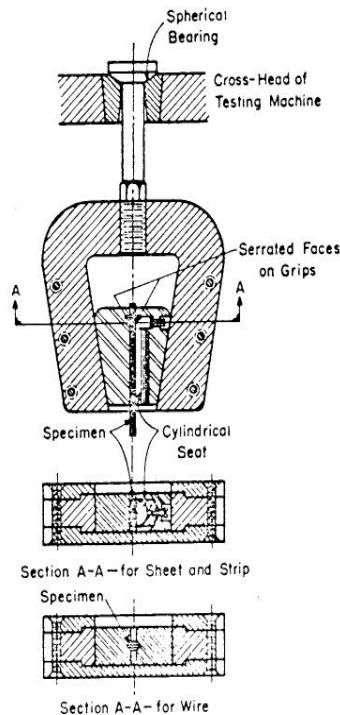


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

specimens may be used. In any such small-size specimen it is important that the gauge length for measurement of elongation

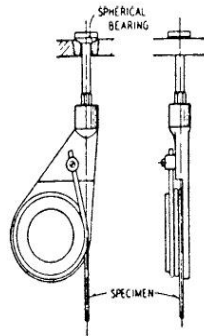


FIG. 6 Snubbing Device for Testing Wire

be four times the diameter of the specimen when following E8 and five times the diameter of the specimen when following E8M.

6.4.3 The shape of the ends of the specimen outside of the gauge 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:

6.5.1 For material with a nominal thickness of 0.13 to 5 mm [0.005 to 0.1875 in.], use the sheet-type specimen described in 6.3.

6.5.2 For material with a nominal thickness of 5 to 12.5 mm [0.1875 to 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 12.5 to 19 mm [0.500 to 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 19 mm [0.750 in.], or greater, use the plate-type specimen of 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 19 mm [0.750 in.], or greater may be tested using a modified sheet-type specimen conforming to the configuration shown by Fig. 1. The thickness of this modified specimen must be machined to 10 ± 0.5 mm [0.400 ± 0.020 in.], and must be uniform within 0.1 mm [0.004 in.] throughout the reduced section. In the event of disagreement, a round specimen shall be used as the referee test (comparison) 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 gauge length for the measurement of elongation of wire less than 4 mm [0.125 in.] in diameter shall be as prescribed in product specifications. When testing wire, rod, or bar having a diameter of 4 mm [0.125 in.] or larger, a gauge length equal to four times the diameter shall be used when following E8 and a gauge length equal to five times the

diameter shall be used when following E8M unless otherwise specified. The total length of the specimens shall be at least equal to the gauge 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 6)—It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gauge marks. For material not exceeding 5 mm [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 5 mm [0.188 in.] in diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.25 mm [0.010 in.] without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 5 mm [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 10 mm [0.375 in.], but not less than 3 mm [0.125 in.], shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 5 mm [0.188 in.] between flats may be turned to a round having a diameter no smaller than 0.25 mm [0.010 in.] less than the original distance between flats.

NOTE 6—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 gauge 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.

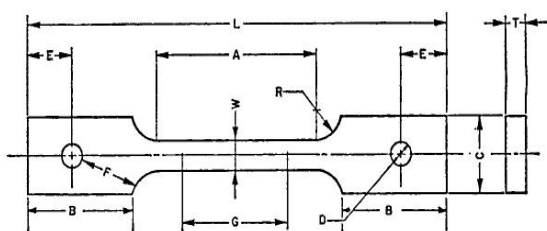
6.6.2.2 For rod and bar, the largest practical size of round specimen as described in 6.4 may be used in place of a test specimen of full cross section. Unless otherwise specified in the product specification, specimens shall be parallel to the direction of rolling or extrusion.

6.7 *Specimens for Rectangular Bar*—In testing rectangular bar one of the following types of specimens shall be used:

6.7.1 *Full Cross Section*—It is permissible to reduce the width of the specimen throughout the test section with abrasive cloth or paper, or by machining sufficiently to facilitate fracture within the gauge marks, but in no case shall the reduced width be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced section not less than 20 mm [$\frac{3}{4}$ in.] in length shall be parallel to each other and to the longitudinal axis of the specimen within 0.05 mm [0.002 in.]. Fillets, preferably with a radius of 10 mm [$\frac{3}{8}$ in.] but not less than 3 mm [$\frac{1}{8}$ in.] shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bar of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be machined or cut and smoothed to ensure failure within the desired section. The reduced width shall not

 E8/E8M – 13a



Dimensions, mm [in.]

G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
T—Thickness, max (Note 2)	16 [0.625]
R—Radius of fillet, min (Note 3)	13 [0.5]
L—Overall length, min	200 [8]
A—Length of reduced section, min	57 [2.25]
B—Length of grip section, min	50 [2]
C—Width of grip section, approximate	50 [2]
D—Diameter of hole for pin, min (Note 4)	13 [0.5]
E—Edge distance from pin, approximate	40 [1.5]
F—Distance from hole to fillet, min	13 [0.5]

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.1 mm [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 1% 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 13 mm [0.500 in.] may be needed.

NOTE 4—Holes must be on center line of reduced section within ± 0.05mm [0.002 in.].

NOTE 5—Variations of dimensions *C*, *D*, *E*, *F*, and *L* may be used that will permit failure within the gauge length.

FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 50-mm [2-in.] Gauge Length

be less than the original bar thickness. Also, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 may be used.

6.8 *Shapes, Structural and Other*—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 *Specimens for Pipe and Tube* (Note 7):

6.9.1 For all small tube (Note 7), particularly sizes 25 mm [1 in.] and under in nominal outside diameter, and frequently for larger sizes, except as limited by the testing equipment, it is standard practice to use tension test specimens of full-size tubular sections. Snug-fitting metal plugs shall be inserted far enough into the ends of such tubular specimens to permit the testing machine jaws to grip the specimens properly. The plugs shall not extend into that part of the specimen on which the elongation is measured. Elongation is measured over a length of four times the diameter when following E8 or five times the diameter when following E8M unless otherwise stated in the product specification. Fig. 11 shows a suitable form of plug, the location of the plugs in the specimen, and the location of the specimen in the grips of the testing machine.

NOTE 7—The term “tube” is used to indicate tubular products in general, and includes pipe, tube, and tubing.

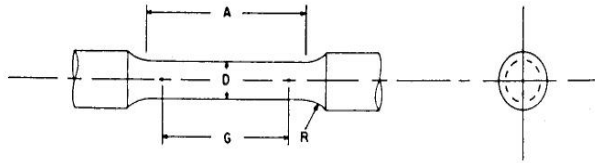
6.9.2 For large-diameter tube that cannot be tested in full section, longitudinal tension test specimens shall be cut as indicated in Fig. 12. Specimens from welded tube shall be located approximately 90° from the weld. If the tube-wall thickness is under 20 mm [0.750 in.], either a specimen of the form and dimensions shown in Fig. 13 or one of the small-size

specimens proportional to the standard 12.5-mm [0.500-in.] specimen, as mentioned in 6.4.2 and shown in Fig. 8, shall be used. Specimens of the type shown in Fig. 13 may be tested with grips having a surface contour corresponding to the curvature of the tube. When grips with curved faces are not available, the ends of the specimens may be flattened without heating. If the tube-wall thickness is 20 mm [0.750 in.] or over, the standard specimen shown in Fig. 8 shall be used.

NOTE 8—In clamping of specimens from pipe and tube (as may be done during machining) or in flattening specimen ends (for gripping), care must be taken so as not to subject the reduced section to any deformation or cold work, as this would alter the mechanical properties.

6.9.3 Transverse tension test specimens for tube may be taken from rings cut from the ends of the tube as shown in Fig. 14. Flattening of the specimen may be either after separating as in *A*, or before separating as in *B*. Transverse tension test specimens for large tube under 20 mm [0.750 in.] in wall thickness shall be either of the small-size specimens shown in Fig. 8 or of the form and dimensions shown for Specimen 2 in Fig. 13. When using the latter specimen, either or both surfaces of the specimen may be machined to secure a uniform thickness, provided not more than 15% of the normal wall thickness is removed from each surface. For large tube 20 mm [0.750 in.] and over in wall thickness, the standard specimen shown in Fig. 8 shall be used for transverse tension tests. Specimens for transverse tension tests on large welded tube to determine the strength of welds shall be located perpendicular to the welded seams, with the welds at about the middle of their lengths.

 **E8/E8M – 13a**



Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

	Small-Size Specimens Proportional to Standard					
	Standard Specimen	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]	16 [0.625]

Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

	Small-Size Specimens Proportional to Standard					
	Standard Specimen	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [1.250 ± 0.005]	20.0 ± 0.1 [0.800 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]	20 [0.75]

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gauge length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gauge length.

NOTE 3—The gauge 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 force shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

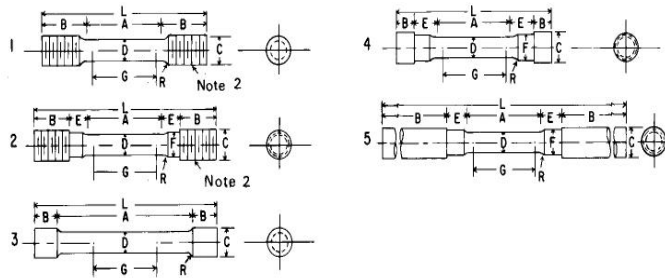
NOTE 4—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gauge lengths are equal to four [E8] or five times [E8M] the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but unless the 4-to-1 [E8] or 5-to-1 [E8M] ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

NOTE 5—The use of specimens smaller than 6-mm [0.250-in.] diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

NOTE 6—For inch/pound units only: 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 12.5-mm [0.500-in.] Round Tension Test Specimen and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

E8/E8M - 13a



Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	56 [2.25]	56 [2.25]	100 [4]	56 [2.25]	56 [2.25]
L—Overall length, approximate	145 [5]	155 [5.5]	approximate	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375]	25 [1]	20 [0.75]	15 [0.5]	75 [3]
C—Diameter of end section	approximate	approximate	approximate	approximate	min
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]		15 [0.625]	15 [0.625]

Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]
L—Overall length, approximate	145 [5]	155 [5.5]	approximate	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375]	25 [1]	20 [0.75]	15 [0.5]	75 [3]
C—Diameter of end section	approximate	approximate	approximate	approximate	min
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]		15 [0.625]	15 [0.625]

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center.

NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.

NOTE 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—The values stated in SI units in the table for Fig. 9 are to be regarded as separate from the inch/pound units. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

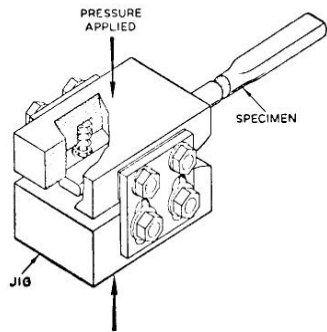
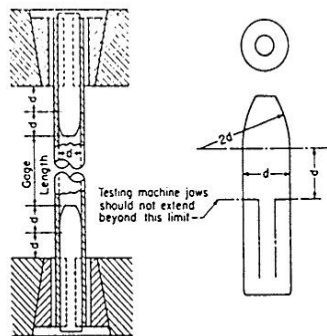
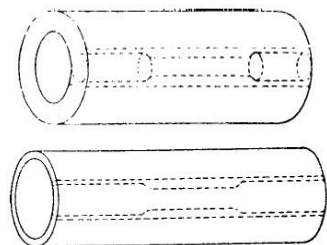


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens



NOTE 1—The diameter of the plug shall have a slight taper from the line limiting the test machine jaws to the curved section.

FIG. 11 Metal Plugs for Testing Tubular Specimens, Proper Location of Plugs in Specimen and of Specimen in Heads of Testing Machine



NOTE 1—The edges of the blank for the specimen shall be cut parallel to each other.

FIG. 12 Location from Which Longitudinal Tension Test Specimens Are to be Cut from Large-Diameter Tube

6.10 *Specimens for Forgings*—For testing forgings, the largest round specimen described in 6.4 shall be used. If round specimens are not feasible, then the largest specimen described in 6.5 shall be used.

6.10.1 For forgings, specimens shall be taken as provided in the applicable product specifications, either from the predominant or thickest part of the forging from which a coupon can be

obtained, or from a prolongation of the forging, or from separately forged coupons representative of the forging. When not otherwise specified, the axis of the specimen shall be parallel to the direction of grain flow.

6.11 *Specimens for Castings*—In testing castings either the standard specimen shown in Fig. 8 or the specimen shown in Fig. 15 shall be used unless otherwise provided in the product specifications.

6.11.1 Test coupons for castings shall be made as shown in Fig. 16 and Table 1.

6.12 *Specimen for Malleable Iron*—For testing malleable iron the test specimen shown in Fig. 17 shall be used, unless otherwise provided in the product specifications.

6.13 *Specimen for Die Castings*—For testing die castings the test specimen shown in Fig. 18 shall be used unless otherwise provided in the product specifications.

6.14 *Specimens for Powder Metallurgy (P/M) Materials*—For testing powder metallurgy (P/M) materials the test specimens shown in Figs. 19 and 20 shall be used, unless otherwise provided in the product specifications. When making test specimens in accordance with Fig. 19, shallow transverse grooves, or ridges, may be pressed in the ends to allow gripping by jaws machined to fit the grooves or ridges. Because of shape and other factors, the flat unmachined tensile test specimen (Fig. 19) in the heat treated condition will have an ultimate tensile strength of 50 % to 85 % of that determined in a machined round tensile test specimen (Fig. 20) of like composition and processing.

7. Procedures

7.1 *Preparation of the Test Machine*—Upon startup, or following a prolonged period of machine inactivity, the test machine should be exercised or warmed up to normal operating temperatures to minimize errors that may result from transient conditions.

7.2 Measurement of Dimensions of Test Specimens:

7.2.1 To determine the cross-sectional area of a test specimen, measure the dimensions of the cross section at the center of the reduced section. For referee testing of specimens less than 5 mm [0.188 in.] in their least dimension, measure the dimensions where the least cross-sectional area is found. Measure and record the cross-sectional dimensions of tension test specimens as follows:

- (1) Specimen dimension ≥ 5 mm [0.200 in.] to the nearest 0.02 mm [0.001 in.].
- (2) 2.5 mm [0.100 in.] \leq Specimen dimension < 5 mm [0.200 in.] to the nearest 0.01 mm [0.0005 in.].
- (3) 0.5 mm [0.020 in.] \leq specimen dimension < 2.5 mm [0.100 in.] to the nearest 0.002 mm [0.0001 in.].
- (4) Specimen dimensions < 0.5 mm [0.020 in.], to at least the nearest 1 % when practical but in all cases to at least the nearest 0.002 mm [0.0001 in.].

NOTE 9—Accurate and precise measurement of specimen dimensions can be one of the most critical aspects of tension testing, depending on specimen geometry. See Appendix X2 for additional information.

NOTE 10—Rough surfaces due to the manufacturing process such as hot rolling, metallic coating, etc., may lead to inaccuracy of the computed

ANEXO D

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
6892-1

First edition
2009-08-15

Metallic materials — Tensile testing —
Part 1:
Method of test at room temperature

Matériaux métalliques — Essai de traction —

Partie 1: Méthode d'essai à température ambiante



Reference number
ISO 6892-1:2009(E)

© ISO 2009

ANEXO E



Designation: E10 – 15

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 E10; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials by the Brinell indentation hardness principle. This standard provides the requirements for a Brinell testing machine and the procedures for performing Brinell hardness tests.

1.2 This standard includes additional requirements in four annexes:

Verification of Brinell Hardness Testing Machines	Annex A1
Brinell Hardness Standardizing Machines	Annex A2
Standardization of Brinell Hardness Indenters	Annex A3
Standardization of Brinell Hardness Test Blocks	Annex A4

1.3 This standard includes nonmandatory information in an appendix which relates to the Brinell hardness test:

Table of Brinell Hardness Numbers	Appendix X1
Examples of Procedures for Determining Brinell Hardness Uncertainty	Appendix X2

1.4 At the time the Brinell hardness test was developed, the force levels were specified in units of kilograms-force (kgf). Although this standard specifies the unit of force in the International System of Units (SI) as the Newton (N), because of the historical precedent and continued common usage of kgf units, force values in kgf units are provided for information and much of the discussion in this standard refers to forces in kgf units.

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

¹ 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 May 1, 2015. Published June 2015. Originally approved in 1924. Last previous edition approved in 2014 as E10–14. DOI: 10.1520/E0010-15.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
- E74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines
- E140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness
- E384 Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials

2.2 American Bearings Manufacturer Association Standard:

ABMA 10-1989 Metal Balls³

2.3 ISO Standards:

- ISO/IEC 17011 Conformity Assessment—General Requirements for Accreditation Bodies Accrediting Conformity Assessment Bodies⁴
- ISO/IEC 17025 General Requirements for the Competence of Calibration and Testing⁴

3. Terminology and Equations

3.1 Definitions:

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

3.1.2 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

² 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.

³ Available from American Bearing Manufacturers Association (ABMA), 2025 M Street, NW, Suite 800, Washington, DC 20036, <http://www.americanbearings.org>.

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

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

3.1.3 *standardization*—to bring in conformance with a known standard through verification or calibration.

3.1.4 *Brinell hardness test*—an indentation hardness test using a verified machine to force an indenter (tungsten carbide ball with diameter D), under specified conditions, into the surface of the material under test. The diameter of the resulting indentation d is measured after removal of the force.

3.1.5 *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.

3.1.6 *Brinell hardness scale*—a designation that identifies the specific combination of ball diameter and applied force used to perform the Brinell hardness test.

3.1.7 *Brinell hardness testing machine*—a Brinell hardness machine used for general testing purposes.

3.1.8 *Brinell hardness standardizing machine*—a Brinell hardness machine used for the standardization of Brinell hardness test blocks. The standardizing machine differs from a regular Brinell hardness testing machine by having tighter tolerances on certain parameters.

3.1.9 *force-diameter ratio*—a number calculated as the ratio of the test force in kgf to the square of the indenter ball diameter in mm (see Table 1).

TABLE 1 Symbols and Designations

Symbol	Designation
D	Diameter of the ball, mm
F	Test force, N
F_{kgf}	Test force, kgf
	$F_{kgf} = \frac{1}{g_n} \times F$
	where g_n is the acceleration due to gravity, $g_n = 9.80665$ kgf/N
d	Mean diameter of the indentation, mm
	$d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$
	where $d_1 + d_2 + \dots + d_n$ are the measured indentation diameters in mm, and n is the number of diameter measurements.
h	Depth of the indentation, mm
	$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
Force-Diameter ratio	$\frac{F_{kgf}}{D^2}$
HBW	Brinell hardness
	$= \frac{\text{Test Force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	$= \frac{2F_{kgf}}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

3.2 *Equations:*

3.2.1 The *Brinell hardness number* is calculated as:

$$HBW = \frac{2F_{kgf}}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

where:

- F_{kgf} = test force in kgf,
- D = diameter of the indenter ball in mm, and
- d = measured mean diameter of the indentation in mm (see Table 1).

3.2.2 The *repeatability R* in the performance of a Brinell hardness machine at each hardness level, under the particular verification conditions, is estimated by the range of diameter measurements of n indentations made on a standardized test block as part of a performance verification, defined as:

$$R = d_{max} - d_{min} \quad (2)$$

where:

- d_{max} = mean diameter of the largest measured indentation, and
- d_{min} = mean diameter of the smallest measured indentation.

3.2.3 The *average \bar{H}* of a set of n Brinell hardness measurement values H_1, H_2, \dots, H_n is calculated as:

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (3)$$

3.2.4 The *error E* in the performance of a Brinell hardness machine at each hardness level is determined as:

$$E = \bar{H} - H_{STD} \quad (4)$$

where:

- \bar{H} (Eq 3) = average of n hardness tests H_1, H_2, \dots, H_n made on a standardized test block as part of a performance verification, and
- H_{STD} = certified average hardness value of the standardized test block.

3.2.5 The *mean diameter of an indentation d* is calculated as:

$$d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} \quad (5)$$

Where:

- d_1, d_2, \dots, d_n = measured indentation diameters in mm, and
- n = the number of diameter measurements.

3.2.6 The *average mean diameter \bar{d}* of a set of indentations is calculated as:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_N}{N} \quad (6)$$

where:

- d_1, d_2, \dots, d_N = mean indentation diameters in mm, and
- N = number of indentations (see Annex A4).

4. Significance and Use

4.1 The Brinell hardness test is an indentation hardness test that can 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.

4.2 Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and have been used extensively in industry for this purpose.

4.3 Brinell hardness testing at a specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product.

5. Principles of Test and Apparatus

5.1 *Brinell Hardness Test Principle*—The general principle of the Brinell indentation hardness test consists of two steps (see Fig. 1).

5.1.1 *Step 1*—The indenter is brought into contact with the test specimen in a direction perpendicular to the surface, and the test force *F* is applied. The test force is held for a specified dwell time and then removed.

5.1.2 *Step 2*—The diameter of the indentation is measured in at least two directions perpendicular to each other. The Brinell hardness value is derived from the mean of the diameter measurements.

5.2 *Brinell 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, and a system for measuring the mean diameter of the indentation in accordance with the Brinell hardness test principle. The design of the testing machine 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 is applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system overshoot, etc.

5.2.1 See the Equipment Manufacturer’s Instruction Manual for a description of the machine’s characteristics, limitations, and respective operating procedures.

5.2.2 *Anvils*—An anvil, or specimen support, should be used that is suitable for the specimen to be tested. The seating and supporting surfaces of all anvils should be clean and free of foreign material. Typically, anvils need only be replaced if they fail to support the test surface perpendicular to the indenter, or they are deemed unsafe.

5.2.3 *Indenters*—Indenters for the Brinell hardness test shall be tungsten carbide balls of four allowed diameters (1, 2.5, 5 and 10 mm). Indenters shall meet the requirements defined in Annex A3.

5.2.4 Oil, dirt, or other foreign materials shall not be allowed to accumulate on the indenter, as this will affect the test results.

5.2.5 *Measurement Device*—The measurement device used for the measurement of the diameter of Brinell indentations may be an integral part of the hardness machine or a separate stand-alone instrument. The allowable measurement devices are classified into two types. The Type A device includes microscopes having movable measuring lines with some type of indicator or computerized measuring system, or an image analysis system. The Type B device is a hand-held microscope (usually 20x or 40x) with fixed measuring lines.

5.2.5.1 *Type A Device*—The acceptable minimum resolution for a Type A device shall be as given in Table 2.

5.2.5.2 *Type B Device*—The acceptable maximum spacing between the graduated lines of Type B devices shall be as given in Table 2. Type B devices shall not be used for measuring indentations made with 2.5 mm and 1 mm ball indenters.

5.3 *Verification*—Brinell testing machines and indentation measurement devices shall be verified periodically in accordance with Annex A1.

5.4 *Test Blocks*—Test blocks meeting the requirements of Annex A4 shall be used to verify the testing machine in accordance with Annex A1.

5.5 *Brinell Hardness Scales*—The combinations of indenters and test forces define the Brinell hardness scales. The standard Brinell hardness scales and test forces are given in Table 3, corresponding to force-diameter ratios (see Table 1) of 1, 1.25, 2.5, 5, 10 and 30. Brinell hardness values should be determined and reported in accordance with one of these standard scales. Other scales using non-standard test forces may be used by special agreement. Examples of other scales and the corresponding force-diameter ratio (in parentheses) are HBW 10/750 (7.5), HBW 10/2000 (20), HBW 10/2500 (25), HBW 5/187.5 (7.5), and HBW 5/500 (20).

5.6 *Calculation of the Brinell Hardness Number*—The Brinell hardness number shall be calculated from the mean diameter *d* of the indentation using Eq 1 or from the values given in Appendix XI.

5.6.1 Brinell hardness values shall not be designated by a number alone because it is necessary to indicate which indenter and which force has been employed in making the test (see

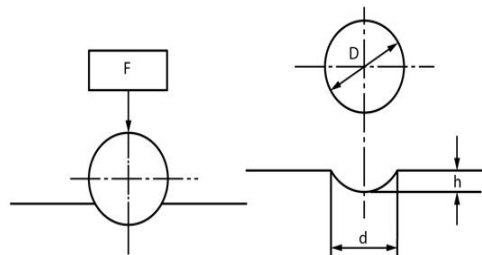


FIG. 1 Principle of Test

TABLE 2 Resolution and Graduation Spacing of Indentation Measuring Devices

Ball Diameter mm	Type A	Type B
	Minimum Indicator Resolution mm	Maximum Graduation Spacing mm
10	0.0100	0.100
5	0.0050	0.050
2.5	0.0025	—
1	0.0010	—

TABLE 3 Test Conditions and Recommended Hardness Range

Brinell Hardness Scale	Ball Diameter <i>D</i> mm	Force-Diameter Ratio ^A	Nominal Value of Test Force, F		Recommended Hardness Range HBW
			N	kgf	
HBW 10/3000	10	30	29420	3000	95.5 to 650
HBW 10/1500	10	15	14710	1500	47.7 to 327
HBW 10/1000	10	10	9807	1000	31.8 to 218
HBW 10/500	10	5	4903	500	15.9 to 109
HBW 10/250	10	2.5	2452	250	7.96 to 54.5
HBW 10/125	10	1.25	1226	125	3.98 to 27.2
HBW 10/100	10	1	980.7	100	3.18 to 21.8
HBW 5/750	5	30	7355	750	95.5 to 650
HBW 5/250	5	10	2452	250	31.8 to 218
HBW 5/125	5	5	1226	125	15.9 to 109
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9	62.5	7.96 to 54.5
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5	31.25	3.98 to 27.2
HBW 5/25	5	1	245.2	25	3.18 to 21.8
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1839	187.5	95.5 to 650
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9	62.5	31.8 to 218
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5	31.25	15.9 to 109
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2	15.625	7.96 to 54.5
HBW 2.5/7.8125	2.5	1.25	76.61	7.8125	3.98 to 27.2
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29	6.25	3.18 to 21.8
HBW 1/30	1	30	294.2	30	95.5 to 650
HBW 1/10	1	10	98.07	10	31.8 to 218
HBW 1/5	1	5	49.03	5	15.9 to 109
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52	2.5	7.96 to 54.5
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26	1.25	3.98 to 27.2
HBW 1/1	1	1	9.807	1	3.18 to 21.8

^A See Table 1.

Table 3). Brinell hardness numbers shall be followed by the symbol HBW, and be supplemented by an index indicating the test conditions in the following order:

5.6.1.1 Diameter of the ball, mm,

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

5.6.1.3 The applied force dwell time, s, if other than 10 s to 15 s.

5.6.2 The only exception to the above requirement is for the HBW 10/3000 scale when a 10 s to 15 s dwell time is used. Only in the case of this one Brinell hardness scale may the designation be reported simply as HBW.

5.6.3 Examples:

220 HBW = Brinell hardness of 220 determined with a ball of 10 mm diameter and with a test force of 29.42 kN (3000 kgf) applied for 10 s to 15 s

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 s 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

6. Test Piece

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

6.1.1 *Thickness*—The thickness of the specimen tested shall be such that no bulge or other marking showing the effect of the test force appears on the side of the piece opposite the

indentation. The thickness of the material under test should be at least ten times the depth of the indentation *h* (see Table 4). Table 4 can also be used as a guideline for the minimum depth of a layer of a material, such as a coating.

NOTE 1—Brinell hardness testing can use high test forces. Under certain conditions of testing a relatively thin material or coating on a material with high hardness, there is a potential for the test material to break or shatter under load resulting in serious personal injury or damage to equipment. Users are strongly cautioned to exercise extreme care when testing a material that could potentially fail under load. If there is a concern or doubt, do not test the material.

6.1.2 *Width*—The minimum width shall conform to the requirements for indentation spacing.

6.1.3 *Finish*—When necessary, the surface on which the indentation is to be made should be filed, ground, machined or polished flat with abrasive material so that the edge of the indentation can be clearly defined to permit the measurement of the diameter to the specified accuracy. Preparation shall be carried out in such a way that any alteration of the surface

TABLE 4 Minimum Specimen Thickness Based on Ten-Times the Indentation Depth

Diameter of Indentation, <i>d</i>	Minimum Specimen Thickness							
	10 mm Ball		5 mm Ball		2.5 mm Ball		1 mm Ball	
	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.
0.2							0.1	0.004
0.3							0.2	0.009
0.4							0.4	0.016
0.5							0.7	0.026
0.6					0.4	0.014	1.0	0.039
0.7					0.5	0.020		
0.8					0.7	0.026		
0.9					0.8	0.033		
1.0					1.0	0.041		
1.1					1.3	0.050		
1.2			0.7	0.029	1.5	0.060		
1.3			0.9	0.034	1.8	0.072		
1.4			1.0	0.039	2.1	0.084		
1.5			1.2	0.045	2.5	0.098		
1.6			1.3	0.052				
1.7			1.5	0.059				
1.8			1.7	0.066				
1.9			1.9	0.074				
2.0			2.1	0.082				
2.2			2.6	0.100				
2.4	1.5	0.058	3.1	0.121				
2.6	1.7	0.068	3.6	0.144				
2.8	2.0	0.079	4.3	0.169				
3.0	2.3	0.091	5.0	0.197				
3.2	2.6	0.104						
3.4	3.0	0.117						
3.6	3.4	0.132						
3.8	3.8	0.148						
4.0	4.2	0.164						
4.2	4.6	0.182						
4.4	5.1	0.201						
4.6	5.6	0.221						
4.8	6.1	0.242						
5.0	6.7	0.264						
5.2	7.3	0.287						
5.4	7.9	0.312						
5.6	8.6	0.338						
5.8	9.3	0.365						

hardness of the test surface (for example, due to overheating or cold-working) is minimized.

7. Test Procedure

7.1 The diameter of the indentation should be between 24 and 60 % of the ball diameter. Approximate Brinell hardness numbers are given in Table 3 for the above range of indentation diameters.

NOTE 2—A lower limit in indentation diameter is recommended because of the risk in damaging the ball and the difficulty in measuring the indentation. The upper limit is recommended because of a reduction in sensitivity as the diameter of the indentation approaches the ball diameter. The thickness and spacing requirements may determine the maximum permissible diameter of indentation for a specific test.

NOTE 3—It is not mandatory that Brinell tests conform to the hardness scales of Table 3. It should be realized that different Brinell hardness numbers may be obtained for a given material by using different forces on the same size of ball. For the purpose of obtaining a continuous scale of values, it may be desirable to use a single force to cover the complete range of hardness for a given class of materials.

7.2 The Brinell hardness test is not recommended for materials above 650 HBW 10/3000.

7.3 Direct comparisons of Brinell hardness numbers for tests using different scales can be made only if the force-diameter ratio is maintained (see Table 3). Brinell hardness tests made on the same test material, but using different force-diameter ratios, will produce different Brinell hardness numbers.

7.3.1 *Example*—An HBW 10/500 test will usually approximate an HBW 5/125 test since the force-diameter ratio is 5 for both scales. However, a value of 160 HBW 10/500 will be approximately equal to 180 HBW 10/3000 on the same test material because of different force-diameter ratios (5 and 30, respectively).

7.4 *Daily Verification*—A daily verification of the testing machine shall be performed in accordance with Annex A1 prior to making hardness tests. Hardness measurements shall be made only on the calibrated surface of the test block. It is also recommended that the operation of the machine be checked in accordance with the daily verification method specified in Annex A1 after each change of the test force, anvil or the indenter.

7.5 *Indentation Procedure*—The Brinell hardness test shall be carried out as follows:

7.5.1 Bring the indenter into contact with the test surface in a direction perpendicular to the surface without shock, vibration or overshoot. The angle between the indenter force-line and the surface of the specimen should be perpendicular.

7.5.2 Apply the test force F within 1 to 8 s. Faster force application times are permitted if it is demonstrated that test results are not affected.

7.5.3 Maintain the fully applied test force for 10 s to 15 s, with the following exception.

7.5.3.1 In the case of materials exhibiting excessive plastic flow after application of the test force, special considerations may be necessary since the indenter will continue to penetrate into the material. Testing of these materials may require the use of a longer applied force dwell time than stated above, which should be specified in the product specification. When an

extended applied force dwell time is used, the dwell time shall be recorded and reported with the test results (see 5.6.1).

7.5.4 At the end of the dwell time, immediately remove the test force without shock or vibration.

7.6 Measurement of Indentation:

7.6.1 Measure the diameter of each indentation in two directions, perpendicular (90°) to each other. Additional measurements of the indentation diameter may also be made. The arithmetic mean of the measurements shall be used for the calculation of the Brinell hardness number.

7.6.2 For routine testing, the diameter of the indentation shall be measured to the resolution of the measuring device when using a Type A device, or one-half the graduation spacing when using a Type B device.

7.6.3 For tests on flat surfaces, the difference between the largest and smallest measured diameters for the same indentation shall not exceed 0.1 mm unless it is specified in the product specification, such as for an anisotropic grain structure where the difference can be 0.2 mm.

7.6.4 When indentations are made on a curved surface, the minimum radius of curvature of the surface shall be two and a half 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.

7.7 *Indentation Spacing*—The distance between the centers of two adjacent indentations shall be at least three times the diameter of the mean indentation.

7.7.1 The distance from the center of any indentation to an edge of the test piece shall be at least two and a half times the diameter of the mean indentation.

7.8 Brinell hardness tests should be carried out at an ambient temperature within the limits of 10 to 35°C (50 to 95°F). Users of the Brinell test are cautioned that the temperature of the test material and the temperature of the hardness tester may affect the test results. Consequently, users should ensure that the test temperature does not adversely affect the hardness measurement.

8. Conversion to Other Hardness Scales or Tensile Strength Values

8.1 There is no general method of accurately converting the Brinell hardness numbers on one scale to Brinell hardness numbers on another scale, or to other types of hardness numbers, or to 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 4—The Standard Hardness Conversion Tables for Metals, E140, give approximate conversion values for specific materials such as steel, austenitic stainless steel, nickel and high-nickel alloys, cartridge brass, copper alloys, and alloyed white cast irons.

9. Report

9.1 At a minimum, the test report shall include the following information:

9.1.1 The Brinell hardness value \bar{H} of the test results rounded to three significant digits, including all zero digits, in

accordance with Practice E29, for example, 225 HBW, 100 HBW 10/500, 95.9 HBW or 9.10 HBW 5/62.5.

9.1.2 The test conditions, when other than a 3000 kgf (29.42 kN) applied force, a 10 mm ball diameter, and a 10 s to 15 s application of test force are used (see 5.6.1).

9.1.3 A statement that the indentation measuring device was Type A, when such a device is used. When a Type B indentation measuring device is used, no statement is required.

9.1.4 The ambient temperature of the test, if outside the limits of 10 to 35°C (50 to 95°F), unless it has been shown to not affect the measurement result.

TABLE 5 Summary of Statistical Information

Test Block	\bar{X}	$S\bar{X}$	Sr	SR	r_{PB}	R_{PB}
100 HBW 5/500	101.71	2.31	0.91	2.42	2.56	6.78
170 HBW 10/1500	175.42	2.08	0.89	2.21	2.49	6.18
225 HBW 10/1500	221.83	4.00	2.20	4.38	6.16	12.28
300 HBW 10/1500	284.63	5.48	2.64	5.89	7.39	16.48
500 HBW 10/3000	502.21	11.78	4.74	12.40	13.28	34.71
300 HBW 10/3000	291.25	6.72	2.08	6.93	5.83	19.42
200 HBW 10/3000	197.71	5.64	4.47	6.72	12.51	18.80

10. Precision and Bias

10.1 The precision of this test method is based on an interlaboratory study of Test Method E10 conducted in 2006. This replaces a previous study which used steel ball indenters. Each of eight laboratories tested the Brinell hardness of metallic materials. Three analyses were performed on a total of seven different materials of varying levels of hardness. Three replicates of each analysis were performed. The results from this study are filed in an ASTM Research Report.⁵

10.2 *Repeatability*—Two test results obtained within one laboratory shall be judged not equivalent if they differ by more than the r_{PB} value for that material; r_{PB} is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory.

10.3 *Reproducibility*—Two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the R_{PB} value for that material; R_{PB} is the interval representing the difference between two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.

10.4 Any judgment in accordance with statements 10.2 or 10.3 would have an approximate 95 % probability of being correct.

10.5 Results from the interlaboratory study are summarized in Table 5.

10.6 *Bias*—At the time of the study, there was no accepted reference material suitable for determining the bias for this test method, therefore no statement on bias can be made.

11. Keywords

11.1 Brinell; hardness; mechanical test; metals

⁵ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:E28-1023.

ANEXO F

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force					
				lb	N	F/N			
10	5	2.5	1	29420	14710	9807	4903	2452	980.7
				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
				1839	1875	—	612.9	306.5	153.2
				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
2.40	1.200	0.6000	0.240	653	327	218	109	54.5	21.8
2.41	1.205	0.6024	0.241	648	324	216	108	54.0	21.6
2.42	1.210	0.6050	0.242	643	321	214	107	53.5	21.4
2.43	1.215	0.6075	0.243	637	319	212	106	53.1	21.2
2.44	1.220	0.6100	0.244	632	316	211	105	52.7	21.1
2.45	1.225	0.6125	0.245	627	318	209	104	52.2	20.9
2.46	1.230	0.6150	0.246	621	311	207	104	51.8	20.7
2.47	1.235	0.6175	0.247	616	308	205	103	51.4	20.5
2.48	1.240	0.6200	0.248	611	306	204	102	50.9	20.4
2.49	1.245	0.6225	0.249	606	303	202	101	50.5	20.2
2.50	1.250	0.6250	0.250	601	301	200	100	50.1	20.0
2.51	1.255	0.6275	0.251	597	298	199	99.4	49.7	19.9
2.52	1.260	0.6300	0.252	592	296	197	98.6	49.3	19.7
2.53	1.265	0.6325	0.253	587	294	196	97.8	48.9	19.6
2.54	1.270	0.6350	0.254	582	291	194	97.1	48.5	19.4
2.55	1.275	0.6375	0.255	578	289	193	96.3	48.1	19.3
2.56	1.280	0.6400	0.256	578	287	191	95.5	47.8	19.1
2.57	1.285	0.6425	0.257	569	284	190	94.8	47.4	19.0
2.58	1.290	0.6450	0.258	564	282	188	94.0	47.0	18.8
2.59	1.295	0.6475	0.259	560	280	187	93.3	46.6	18.7
2.60	1.300	0.6500	0.260	555	278	185	92.6	46.3	18.5
2.61	1.305	0.6525	0.261	551	276	184	91.8	45.9	18.4
2.62	1.310	0.6550	0.262	547	273	182	91.1	45.6	18.2
2.63	1.315	0.6575	0.263	543	271	181	90.4	45.2	18.1
2.64	1.320	0.6600	0.264	538	269	179	89.7	44.9	17.9
2.65	1.325	0.6625	0.265	534	267	178	89.0	44.5	17.8
2.66	1.330	0.6650	0.266	530	265	177	88.4	44.2	17.7
2.67	1.335	0.6675	0.267	526	263	175	87.7	43.8	17.5
2.68	1.340	0.6700	0.268	522	261	174	87.0	43.5	17.4

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force <i>F/N</i>					
				<i>h₀</i>					
10	5	2.5	1	29420	14710	9807	4903	2452	980.7
				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
				1839	1875 ^{SN}	612.9	306.5	153.2	61.29
				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
2.69	1.345	0.6725	0.269	618	269	173	86.4	43.2	17.3
2.70	1.350	0.6750	0.270	514	257	171	85.7	42.9	17.1
2.71	1.355	0.6775	0.271	510	255	170	85.1	42.5	17.0
2.72	1.360	0.6800	0.272	507	253	169	84.4	42.2	16.9
2.73	1.365	0.6825	0.273	503	251	168	83.8	41.9	16.8
2.74	1.370	0.6850	0.274	499	250	168	83.2	41.6	16.6
2.75	1.375	0.6875	0.275	495	248	165	82.6	41.3	16.5
2.76	1.380	0.6900	0.276	492	246	164	81.9	41.0	16.4
2.77	1.385	0.6925	0.277	488	244	163	81.3	40.7	16.3
2.78	1.390	0.6950	0.278	485	242	162	80.8	40.4	16.2
2.79	1.395	0.6975	0.279	481	240	160	80.2	40.1	16.0
2.80	1.400	0.7000	0.280	477	239	159	80.2	39.8	15.9
2.81	1.405	0.7025	0.281	474	237	158	79.6	39.5	15.8
2.82	1.410	0.7050	0.282	471	235	157	79.0	39.2	15.7
2.83	1.415	0.7075	0.283	467	234	156	78.4	38.9	15.6
2.84	1.420	0.7100	0.284	464	232	155	77.9	38.7	15.5
2.85	1.425	0.7125	0.285	461	230	154	77.3	38.4	15.4
2.86	1.430	0.7150	0.286	457	229	152	76.8	38.1	15.2
2.87	1.435	0.7175	0.287	454	227	151	76.2	37.8	15.1
2.88	1.440	0.7200	0.288	451	225	150	75.7	37.6	15.0
2.89	1.445	0.7225	0.288	448	224	149	75.1	37.3	14.9
2.90	1.450	0.7250	0.290	444	222	148	74.8	37.0	14.8
2.91	1.455	0.7275	0.291	441	221	147	74.8	37.0	14.8
2.92	1.460	0.7300	0.292	438	219	146	74.1	36.8	14.7
2.93	1.465	0.7325	0.293	435	218	146	73.6	36.5	14.6
2.94	1.470	0.7350	0.294	432	216	145	73.6	36.3	14.5
2.95	1.475	0.7375	0.295	429	216	144	73.0	36.0	14.4
2.96	1.480	0.7400	0.296	426	215	143	72.5	35.8	14.3
2.97	1.485	0.7425	0.297	423	213	142	72.0	35.5	14.2
2.98	1.490	0.7450	0.298	420	212	141	71.5	35.3	14.1
2.99	1.495	0.7475	0.299	417	210	140	71.0	35.0	14.0
3.00	1.500	0.7500	0.300	415	209	139	69.6	34.8	13.9
3.01	1.505	0.7525	0.301	412	207	138	69.1	34.6	13.8
3.02	1.510	0.7550	0.302	409	206	137	68.6	34.3	13.7
					205	136	68.2	34.1	13.6

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ³					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force					
				lb			F/N		
10	5	2.5	1	29420	14710	9807	4903	2452	980.7
				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
				1839 (51.5 N)	—	612.9	306.5	153.2	61.29
				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
3.03	1.515	0.7575	0.303	408	203	135	67.7	33.9	13.5
3.04	1.520	0.7600	0.304	404	202	135	67.3	33.8	13.5
3.05	1.525	0.7625	0.305	401	200	134	66.8	33.4	13.4
3.06	1.530	0.7650	0.306	398	199	133	66.4	33.2	13.3
3.07	1.535	0.7675	0.307	395	198	132	65.9	33.0	13.2
3.08	1.540	0.7700	0.308	393	198	131	65.5	32.7	13.1
3.09	1.545	0.7725	0.309	390	195	130	65.0	32.5	13.0
3.10	1.550	0.7750	0.310	388	194	129	64.6	32.3	12.9
3.11	1.555	0.7775	0.311	385	193	128	64.2	32.1	12.8
3.12	1.560	0.7800	0.312	383	191	128	63.8	31.9	12.8
3.13	1.565	0.7825	0.313	380	190	127	63.3	31.7	12.7
3.14	1.570	0.7850	0.314	378	189	126	62.9	31.5	12.6
3.15	1.575	0.7875	0.315	375	188	125	62.5	31.3	12.5
3.16	1.580	0.7900	0.316	373	186	124	62.1	31.1	12.4
3.17	1.585	0.7925	0.317	370	185	123	61.7	30.9	12.3
3.18	1.590	0.7950	0.318	368	184	123	61.3	30.7	12.3
3.19	1.595	0.7975	0.319	366	183	122	60.9	30.5	12.2
3.20	1.600	0.8000	0.320	363	182	121	60.5	30.3	12.1
3.21	1.605	0.8025	0.321	361	180	120	60.1	30.1	12.0
3.22	1.610	0.8050	0.322	359	179	120	59.8	29.9	12.0
3.23	1.615	0.8075	0.323	356	178	119	59.4	29.7	11.9
3.24	1.620	0.8100	0.324	354	177	118	59.0	29.5	11.8
3.25	1.625	0.8125	0.325	352	176	117	58.6	29.3	11.7
3.26	1.630	0.8150	0.326	350	175	117	58.3	29.1	11.7
3.27	1.635	0.8175	0.327	347	174	116	57.9	29.0	11.6
3.28	1.640	0.8200	0.328	345	173	115	57.5	28.8	11.5
3.29	1.645	0.8225	0.329	343	172	114	57.2	28.6	11.4
3.30	1.650	0.8250	0.330	341	170	114	56.8	28.4	11.4
3.31	1.655	0.8275	0.331	339	169	113	56.5	28.2	11.3
3.32	1.660	0.8300	0.332	337	168	112	56.1	28.1	11.2
3.33	1.665	0.8325	0.333	335	167	112	55.8	27.9	11.2
3.34	1.670	0.8350	0.334	333	166	111	55.4	27.7	11.1
3.35	1.675	0.8375	0.335	331	165	110	55.1	27.5	11.0
3.36	1.680	0.8400	0.336	329	164	110	54.8	27.4	11.0

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force <i>F/N</i>					
				lb					
10				29420	14710	9807	4903	2452	980.7
	5			7355	—	2452	1226	612.9	245.2
		2.5		1839	—	612.9	306.5	153.2	61.29
			1	294.2	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
3.37	1.685	0.8425	0.337	326	163	109	54.4	27.2	10.9
3.38	1.690	0.8450	0.338	325	162	108	54.1	27.0	10.8
3.39	1.695	0.8475	0.339	323	161	108	53.8	26.9	10.8
3.40	1.700	0.8500	0.340	321	160	107	53.4	26.7	10.7
3.41	1.705	0.8525	0.341	319	159	106	53.1	26.6	10.6
3.42	1.710	0.8550	0.342	317	158	106	52.8	26.4	10.6
3.43	1.715	0.8575	0.343	315	157	105	52.5	26.2	10.5
3.44	1.720	0.8600	0.344	313	156	104	52.2	26.1	10.4
3.45	1.725	0.8625	0.345	311	156	104	51.8	25.9	10.4
3.46	1.730	0.8650	0.346	309	155	103	51.5	25.8	10.3
3.47	1.735	0.8675	0.347	307	154	102	51.2	25.6	10.2
3.48	1.740	0.8700	0.348	308	153	102	50.9	25.5	10.2
3.49	1.745	0.8725	0.349	304	152	101	50.6	25.3	10.1
3.50	1.750	0.8750	0.350	302	151	101	50.3	25.2	10.1
3.51	1.755	0.8775	0.351	300	150	100	50.0	25.0	10.0
3.52	1.760	0.8800	0.352	298	149	99.5	49.7	24.9	9.95
3.53	1.765	0.8825	0.353	297	148	98.9	49.4	24.7	9.89
3.54	1.770	0.8850	0.354	295	147	98.3	49.2	24.6	9.83
3.55	1.775	0.8875	0.355	293	147	97.7	48.9	24.4	9.77
3.56	1.780	0.8900	0.356	292	146	97.2	48.6	24.3	9.72
3.57	1.785	0.8925	0.357	290	145	96.6	48.3	24.2	9.66
3.58	1.790	0.8950	0.358	288	144	96.1	48.0	24.0	9.61
3.59	1.795	0.8975	0.359	286	143	95.5	47.7	23.9	9.55
3.60	1.800	0.9000	0.360	285	142	95.0	47.5	23.7	9.50
3.61	1.805	0.9025	0.361	283	142	94.4	47.2	23.6	9.44
3.62	1.810	0.9050	0.362	282	141	93.9	46.9	23.5	9.39
3.63	1.815	0.9075	0.363	280	140	93.3	46.7	23.3	9.33
3.64	1.820	0.9100	0.364	278	139	92.8	46.4	23.2	9.28
3.65	1.825	0.9125	0.365	277	138	92.3	46.1	23.1	9.23
3.66	1.830	0.9150	0.366	276	138	91.8	45.9	22.9	9.18
3.67	1.835	0.9175	0.367	274	137	91.2	45.6	22.8	9.12
3.68	1.840	0.9200	0.368	272	136	90.7	45.4	22.7	9.07
3.69	1.845	0.9225	0.369	271	135	90.2	45.1	22.6	9.02
3.70	1.850	0.9250	0.370	269	135	89.7	44.9	22.4	8.97

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force					
				<i>F/N</i>					
10				29420	14710	9807	4903	2452	980.7
5				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
2.5				1839	187.5 N	612.9	306.5	153.2	61.29
1				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
3.71	1.855	0.927 5	0.371	268	134	89.2	44.6	22.3	8.82
3.72	1.860	0.930 0	0.372	266	133	88.7	44.4	22.2	8.87
3.73	1.865	0.932 5	0.373	265	132	88.2	44.1	22.1	8.82
3.74	1.870	0.935 0	0.374	263	132	87.7	43.9	21.9	8.77
3.75	1.875	0.937 5	0.375	262	131	87.2	43.6	21.8	8.72
3.76	1.880	0.940 0	0.376	260	130	86.8	43.4	21.7	8.68
3.77	1.885	0.942 5	0.377	259	129	86.3	43.1	21.6	8.63
3.78	1.890	0.945 0	0.378	257	129	85.8	42.9	21.5	8.58
3.79	1.895	0.947 5	0.379	256	128	85.3	42.7	21.3	8.53
3.80	1.900	0.950 0	0.380	255	127	84.9	42.4	21.2	8.49
3.81	1.902	0.952 5	0.381	253	127	84.4	42.2	21.1	8.44
3.82	1.910	0.955 0	0.382	252	126	83.9	42.0	21.0	8.39
3.83	1.915	0.957 5	0.383	250	125	83.5	41.7	20.9	8.35
3.84	1.920	0.960 0	0.384	249	125	83.0	41.5	20.8	8.30
3.85	1.925	0.962 5	0.385	248	124	82.6	41.3	20.6	8.26
3.86	1.930	0.965 0	0.386	246	123	82.1	41.1	20.5	8.21
3.87	1.935	0.967 5	0.387	245	123	81.7	40.9	20.4	8.17
3.88	1.940	0.970 0	0.388	244	122	81.3	40.6	20.3	8.13
3.89	1.945	0.972 5	0.389	242	121	80.8	40.4	20.2	8.08
3.90	1.950	0.975 0	0.390	241	121	80.4	40.2	20.1	8.04
3.91	1.955	0.977 5	0.391	240	120	80.0	40.0	20.0	8.00
3.92	1.960	0.980 0	0.392	239	119	79.5	39.8	19.9	7.95
3.93	1.965	0.982 5	0.393	237	119	79.1	39.6	19.8	7.91
3.94	1.970	0.985 0	0.394	236	118	78.7	39.4	19.7	7.87
3.95	1.975	0.987 5	0.395	235	117	78.3	39.1	19.6	7.83
3.96	1.980	0.990 0	0.396	234	117	77.9	38.9	19.5	7.79
3.97	1.985	0.992 5	0.397	232	116	77.5	38.7	19.4	7.75
3.98	1.990	0.995 0	0.398	231	116	77.1	38.5	19.3	7.71
3.99	1.995	0.997 5	0.399	230	115	76.7	38.3	19.2	7.67
4.00	2.000	1.000 0	0.400	229	114	76.3	38.1	19.1	7.63
4.01	2.005	1.002 5	0.401	228	114	75.9	37.9	19.0	7.59
4.02	2.010	1.005 0	0.402	226	113	75.5	37.7	18.9	7.55
4.03	2.015	1.007 5	0.403	225	113	75.5	37.5	18.8	7.51
4.04	2.020	1.010 0	0.404	224	112	74.7	37.3	18.7	7.47

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force					
				<i>F/N</i>					
				lb					
10	5	2.5	1	29420	14710	9807	4903	2452	980.7
				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
				1839	5N	612.9	306.5	153.2	61.29
				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
4.05	2.025	1.0125	0.405	223	111	74.3	37.1	18.6	7.43
4.06	2.030	1.0150	0.406	222	111	73.9	37.0	18.5	7.39
4.07	2.035	1.0175	0.407	221	110	73.5	36.8	18.4	7.35
4.08	2.040	1.0200	0.408	219	110	73.2	36.6	18.3	7.32
4.09	2.045	1.0225	0.409	218	109	72.8	36.4	18.2	7.28
4.10	2.050	1.0250	0.410	217	109	72.4	36.2	18.1	7.24
4.11	2.055	1.0275	0.411	216	108	72.0	36.0	18.0	7.20
4.12	2.060	1.0300	0.412	215	108	71.7	35.8	17.9	7.17
4.13	2.065	1.0325	0.413	214	107	71.3	35.7	17.8	7.13
4.14	2.070	1.0350	0.414	213	106	71.0	35.5	17.7	7.10
4.15	2.075	1.0375	0.415	212	106	70.6	35.3	17.6	7.06
4.16	2.080	1.0400	0.416	211	105	70.2	35.1	17.5	7.02
4.17	2.085	1.0425	0.417	210	105	69.9	34.9	17.4	6.99
4.18	2.090	1.0450	0.418	209	104	69.5	34.8	17.3	6.95
4.19	2.095	1.0475	0.419	208	104	69.2	34.6	17.2	6.92
4.20	2.100	1.0500	0.420	207	103	68.8	34.4	17.1	6.88
4.21	2.105	1.0525	0.421	205	103	68.5	34.2	17.0	6.85
4.22	2.110	1.0550	0.422	204	102	68.2	34.1	16.9	6.82
4.23	2.115	1.0575	0.423	203	102	67.8	33.9	16.8	6.78
4.24	2.120	1.0600	0.424	202	101	67.5	33.7	16.7	6.75
4.25	2.125	1.0625	0.425	201	101	67.1	33.6	16.6	6.71
4.26	2.130	1.0650	0.426	200	100	66.8	33.4	16.5	6.68
4.27	2.135	1.0675	0.427	199	99.7	66.5	33.2	16.4	6.65
4.28	2.140	1.0700	0.428	198	99.2	66.2	33.1	16.3	6.62
4.29	2.145	1.0725	0.429	198	98.8	65.8	32.9	16.2	6.58
4.30	2.150	1.0750	0.430	197	98.3	65.5	32.8	16.1	6.55
4.31	2.155	1.0775	0.431	196	97.8	65.2	32.6	16.0	6.52
4.32	2.160	1.0800	0.432	195	97.3	64.9	32.4	15.9	6.49
4.33	2.165	1.0825	0.433	194	96.8	64.6	32.3	15.8	6.46
4.34	2.170	1.0850	0.434	193	96.4	64.2	32.1	15.7	6.42
4.35	2.175	1.0875	0.435	192	95.9	63.9	32.0	15.6	6.39
4.36	2.180	1.0900	0.436	191	95.4	63.6	31.8	15.5	6.36
4.37	2.185	1.0925	0.437	190	95.0	63.3	31.7	15.4	6.33
4.38	2.190	1.0950	0.438	189	94.5	63.0	31.5	15.3	6.30

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Testing Force <i>F/N</i>					
				29420	14710	9807	4903	2452	980.7
10	5	2.5	1	7355	—	2452	1226	612.9	245.2
				1839	—	612.9	306.5	153.2	61.29
				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
				Brinell Hardness Value HBW					
4.39	2.185	1.0975	0.438	188	84.1	62.7	31.4	15.7	6.27
4.40	2.200	1.1000	0.440	187	83.8	62.4	31.2	15.6	6.24
4.41	2.205	1.1025	0.441	186	83.2	62.1	31.1	15.5	6.21
4.42	2.210	1.1050	0.442	185	82.7	61.8	30.9	15.5	6.18
4.43	2.215	1.1075	0.443	185	82.3	61.5	30.8	15.4	6.15
4.44	2.220	1.1100	0.444	184	81.8	61.2	30.6	15.3	6.12
4.45	2.225	1.1125	0.445	183	81.4	60.9	30.5	15.2	6.09
4.56	2.230	1.1150	0.446	182	81.0	60.6	30.3	15.2	6.06
4.47	2.235	1.1175	0.447	181	80.5	60.4	30.2	15.1	6.04
4.48	2.240	1.1200	0.448	180	80.1	60.1	30.0	15.0	6.01
4.49	2.245	1.1225	0.449	179	89.7	59.8	29.9	14.9	5.98
4.50	2.250	1.1250	0.450	178	89.3	59.5	29.8	14.9	5.95
4.51	2.255	1.1275	0.451	178	88.9	59.2	29.6	14.8	5.92
4.52	2.260	1.1300	0.452	177	88.4	59.0	29.5	14.7	5.90
4.53	2.265	1.1325	0.453	176	88.0	58.7	29.3	14.7	5.87
4.54	2.270	1.1350	0.454	175	87.6	58.4	29.2	14.6	5.84
4.55	2.275	1.1375	0.455	174	87.2	58.1	29.1	14.5	5.81
4.56	2.280	1.1400	0.456	174	86.8	57.9	28.9	14.5	5.79
4.57	2.285	1.1425	0.457	173	86.4	57.6	28.8	14.4	5.76
4.58	2.290	1.1450	0.458	172	86.0	57.3	28.7	14.3	5.73
4.59	2.295	1.1475	0.459	171	85.6	57.1	28.5	14.3	5.71
4.60	2.300	1.1500	0.460	170	85.2	56.8	28.4	14.2	5.68
4.61	2.305	1.1525	0.461	170	84.8	56.6	28.3	14.1	5.65
4.62	2.310	1.1550	0.462	169	84.4	56.3	28.1	14.1	5.63
4.63	2.315	1.1575	0.463	168	84.0	56.0	28.0	14.0	5.60
4.64	2.320	1.1600	0.464	167	83.6	55.8	27.9	13.9	5.58
4.65	2.325	1.1625	0.465	167	83.3	55.5	27.8	13.9	5.55
4.66	2.330	1.1650	0.466	166	82.9	55.3	27.6	13.8	5.53
4.67	2.335	1.1675	0.467	165	82.5	55.0	27.5	13.8	5.50
4.68	2.340	1.1700	0.468	164	82.1	54.8	27.4	13.7	5.48
4.69	2.345	1.1725	0.469	164	81.8	54.5	27.3	13.6	5.45
4.70	2.350	1.1750	0.470	163	81.4	54.3	27.1	13.6	5.43
4.71	2.355	1.1775	0.471	162	81.0	54.0	27.0	13.5	5.40
4.72	2.360	1.1800	0.472	161	80.7	53.8	26.9	13.4	5.38

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Testing Force <i>F/N</i>					
				10	5	2.5	1	10	5
4.73	2.365	1.182 5	0.473	29420	14710	9807	4903	2452	980.7
4.74	2.370	1.185 0	0.474	7355	—	2452	1226	612.9	245.2
4.75	2.375	1.187 5	0.475	1839	1375 N	612.9	306.5	153.2	61.29
4.76	2.380	1.190 0	0.476	2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
4.77	2.385	1.192 5	0.477						
4.78	2.390	1.195 0	0.478						
4.79	2.395	1.197 5	0.479						
4.80	2.400	1.200 0	0.480						
4.81	2.405	1.202 5	0.481						
4.82	2.410	1.205 0	0.482						
4.83	2.415	1.207 5	0.483						
4.84	2.420	1.210 0	0.484						
4.85	2.425	1.212 5	0.485						
4.86	2.430	1.215 0	0.486						
4.87	2.435	1.217 5	0.487						
4.88	2.440	1.220 0	0.488						
4.89	2.445	1.222 5	0.489						
4.90	2.450	1.225 0	0.490						
4.91	2.455	1.227 5	0.491						
4.92	2.460	1.230 0	0.492						
4.93	2.465	1.232 5	0.493						
4.94	2.470	1.235 0	0.494						
4.95	2.475	1.237 5	0.495						
4.96	2.480	1.240 0	0.496						
4.97	2.485	1.242 5	0.497						
4.98	2.490	1.245 0	0.498						
4.99	2.495	1.247 5	0.499						
5.00	2.500	1.250 0	0.500						
5.01	2.505	1.252 5	0.501						
5.02	2.510	1.255 0	0.502						
5.03	2.515	1.257 5	0.503						
5.04	2.520	1.260 0	0.504						
5.05	2.525	1.262 5	0.505						
5.06	2.530	1.265 0	0.506						

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force					
				lb			F/N		
10	5	2.5	1	29420	14710	9807	4903	2452	980.7
				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
				1839	1875	—	612.9	306.5	61.29
				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
5.07	2.535	1.2675	0.507	138	68.2	46.1	23.1	11.5	4.61
5.08	2.540	1.2700	0.508	138	68.9	45.9	23.0	11.5	4.59
5.09	2.545	1.2725	0.509	137	68.6	45.7	22.9	11.4	4.57
5.10	2.550	1.2750	0.510	137	68.3	45.5	22.8	11.4	4.55
5.11	2.555	1.2775	0.511	136	68.0	45.3	22.7	11.3	4.53
5.12	2.560	1.2800	0.512	135	67.7	45.1	22.6	11.3	4.51
5.13	2.565	1.2825	0.513	135	67.4	45.0	22.5	11.2	4.50
5.14	2.570	1.2850	0.514	134	67.1	44.8	22.4	11.2	4.48
5.15	2.575	1.2875	0.515	134	66.9	44.6	22.3	11.1	4.46
5.16	2.580	1.2900	0.516	133	66.6	44.4	22.2	11.1	4.44
5.17	2.585	1.2925	0.517	133	66.3	44.2	22.1	11.1	4.42
5.18	2.590	1.2950	0.518	132	66.0	44.0	22.0	11.0	4.40
5.19	2.595	1.2975	0.519	132	65.8	43.8	21.9	11.0	4.38
5.20	2.600	1.3000	0.520	131	65.5	43.7	21.8	10.9	4.37
5.21	2.605	1.3025	0.521	130	65.2	43.5	21.7	10.9	4.35
5.22	2.610	1.3050	0.522	130	64.9	43.3	21.6	10.8	4.33
5.23	2.615	1.3075	0.523	129	64.7	43.1	21.6	10.8	4.31
5.24	2.620	1.3100	0.524	129	64.4	42.9	21.5	10.7	4.29
5.25	2.625	1.3125	0.525	128	64.1	42.8	21.4	10.7	4.28
5.26	2.630	1.3150	0.526	128	63.9	42.6	21.3	10.6	4.26
5.27	2.635	1.3175	0.527	127	63.6	42.4	21.2	10.6	4.24
5.28	2.640	1.3200	0.528	127	63.3	42.2	21.1	10.6	4.22
5.29	2.645	1.3225	0.529	126	63.1	42.1	21.0	10.5	4.21
5.30	2.650	1.3250	0.530	126	62.8	41.9	20.9	10.5	4.19
5.31	2.655	1.3275	0.531	125	62.6	41.7	20.9	10.4	4.17
5.32	2.660	1.3300	0.532	125	62.3	41.5	20.8	10.4	4.16
5.33	2.665	1.3325	0.533	124	62.1	41.4	20.7	10.3	4.14
5.34	2.670	1.3350	0.534	124	61.8	41.2	20.6	10.3	4.12
5.35	2.675	1.3375	0.535	123	61.5	41.0	20.5	10.3	4.10
5.36	2.680	1.3400	0.536	123	61.3	40.9	20.4	10.2	4.09
5.37	2.685	1.3425	0.537	122	61.0	40.7	20.3	10.2	4.07
5.38	2.690	1.3450	0.538	122	60.8	40.5	20.3	10.1	4.05
5.39	2.695	1.3475	0.539	121	60.6	40.4	20.2	10.1	4.04
5.40	2.700	1.3500	0.540	121	60.3	40.2	20.1	10.1	4.02

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
Testing Force <i>F/N</i>				Testing Force					
				<i>F/N</i>					
10	5	2.5	1	29 420	14 710	9 807	4 903	2 452	980.7
				7 355	—	2 452	1 226	612.9	245.2
				1 839	—	612.9	306.5	153.2	61.29
				294.2	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
5.41	2.705	1.352 5	0.541	120	60.1	40.0	20.9	10.0	4.00
5.42	2.710	1.355 0	0.542	120	59.8	39.9	19.9	9.97	3.99
5.43	2.715	1.357 5	0.543	119	59.6	39.7	19.9	9.93	3.97
5.44	2.720	1.360 0	0.544	119	59.3	39.6	19.8	9.89	3.96
5.45	2.725	1.362 5	0.545	118	59.1	39.4	19.7	9.85	3.94
5.46	2.730	1.365 0	0.546	118	58.9	39.2	19.6	9.81	3.92
5.47	2.735	1.367 5	0.547	117	58.6	39.1	19.5	9.77	3.91
5.48	2.740	1.370 0	0.548	117	58.4	38.9	19.5	9.73	3.89
5.49	2.745	1.372 5	0.549	116	58.2	38.8	19.4	9.69	3.88
5.50	2.750	1.375 0	0.550	116	57.9	38.6	19.3	9.66	3.86
5.51	2.755	1.377 5	0.551	115	57.7	38.5	19.2	9.62	3.85
5.52	2.760	1.380 0	0.552	115	57.5	38.3	19.2	9.58	3.83
5.53	2.765	1.382 5	0.553	114	57.2	38.2	19.1	9.54	3.82
5.54	2.770	1.385 0	0.554	114	57.0	38.0	19.0	9.50	3.80
5.55	2.775	1.387 5	0.555	114	56.8	37.9	18.9	9.47	3.79
5.56	2.780	1.390 0	0.556	113	56.6	37.7	18.9	9.43	3.77
5.57	2.785	1.392 5	0.557	113	56.3	37.6	18.8	9.39	3.76
5.58	2.790	1.395 0	0.558	112	56.1	37.4	18.7	9.35	3.74
5.59	2.795	1.397 5	0.559	112	55.9	37.3	18.6	9.32	3.73
5.60	2.800	1.400 0	0.560	111	55.7	37.1	18.6	9.28	3.71
5.61	2.805	1.402 5	0.561	111	55.5	37.0	18.5	9.24	3.70
5.62	2.810	1.405 0	0.562	110	55.2	36.8	18.4	9.21	3.68
5.63	2.815	1.407 5	0.563	110	55.0	36.7	18.3	9.17	3.67
5.64	2.820	1.410 0	0.564	110	54.8	36.5	18.3	9.14	3.65
5.65	2.825	1.412 5	0.565	109	54.6	36.4	18.2	9.10	3.64
5.66	2.830	1.415 0	0.566	109	54.4	36.3	18.1	9.06	3.63
5.67	2.835	1.417 5	0.567	108	54.2	36.1	18.1	9.03	3.61
5.68	2.840	1.420 0	0.568	108	54.0	36.0	18.0	8.99	3.60
5.69	2.845	1.422 5	0.569	107	53.7	35.8	17.9	8.96	3.58
5.70	2.850	1.425 0	0.570	107	53.5	35.7	17.8	8.92	3.57
5.71	2.855	1.427 5	0.571	107	53.3	35.6	17.8	8.89	3.56
5.72	2.860	1.430 0	0.572	106	53.1	35.4	17.7	8.85	3.54
5.73	2.865	1.432 5	0.573	106	52.9	35.3	17.6	8.82	3.53
5.74	2.870	1.435 0	0.574	105	52.7	35.1	17.6	8.79	3.51

ANEXO G



Designation: E415 – 15

Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry¹

This standard is issued under the fixed designation E415; 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.

1. Scope

1.1 This test method covers the simultaneous determination of 21 alloying and residual elements in carbon and low-alloy steels by spark atomic emission vacuum spectrometry in the mass fraction ranges shown Note 1.

Element	Composition Range, %	
	Applicable Range, Mass Fraction % ^A	Quantitative Range, Mass Fraction % ^B
Aluminum	0 to 0.093	0.006 to 0.093
Antimony	0 to 0.027	0.006 to 0.027
Arsenic	0 to 0.1	0.003 to 0.1
Boron	0 to 0.007	0.0004 to 0.007
Calcium	0 to 0.003	0.002 to 0.003
Carbon	0 to 1.1	0.02 to 1.1
Chromium	0 to 8.2	0.007 to 8.14
Cobalt	0 to 0.20	0.006 to 0.20
Copper	0 to 0.5	0.006 to 0.5
Manganese	0 to 2.0	0.03 to 2.0
Molybdenum	0 to 1.3	0.007 to 1.3
Nickel	0 to 5.0	0.006 to 5.0
Niobium	0 to 0.12	0.003 to 0.12
Nitrogen	0 to 0.015	0.01 to 0.055
Phosphorous	0 to 0.085	0.006 to 0.085
Silicon	0 to 1.54	0.02 to 1.54
Sulfur	0 to 0.055	0.001 to 0.055
Tin	0 to 0.061	0.005 to 0.061
Titanium	0 to 0.2	0.001 to 0.2
Vanadium	0 to 0.3	0.003 to 0.3
Zirconium	0 to 0.05	0.01 to 0.05

^A Applicable range in accordance with Guide E1763 for results reported in accordance with Practice E1950.

^B Quantitative range in accordance with Practice E1601.

NOTE 1—The mass fraction ranges of the elements listed have been established through cooperative testing² of reference materials.

1.2 This test method covers analysis of specimens having a diameter adequate to overlap and seal the bore of the spark stand opening. The specimen thickness can vary significantly

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E01 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. 15, 2015. Published March 2016. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 2014 as E415 – 14. DOI: 10.1520/E0415-15.

² Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR.E01-1122. Contact ASTM Customer Service at service@astm.org.

according to the design of the spectrometer stand, but a thickness between 10 mm and 38 mm has been found to be most practical.

1.3 This test method covers the routine control analysis in iron and steelmaking operations and the analysis of processed material. It is designed for chill-cast, rolled, and forged specimens. Better performance is expected when reference materials and specimens are of similar metallurgical condition and composition. However, it is not required for all applications of this standard.

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 Standards³

- E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
- E135 Terminology Relating to Analytical Chemistry for Metals, Ores, and Related Materials
- E305 Practice for Establishing and Controlling Atomic Emission Spectrochemical Analytical Curves
- E350 Test Methods for Chemical Analysis of Carbon Steel, Low-Alloy Steel, Silicon Electrical Steel, Ingot Iron, and Wrought Iron
- E406 Practice for Using Controlled Atmospheres in Spectrochemical Analysis
- E1019 Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel, Iron, Nickel, and Cobalt Alloys by Various Combustion and Fusion Techniques
- E1329 Practice for Verification and Use of Control Charts in Spectrochemical Analysis
- E1601 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Evaluate the Performance of an Analytical Method
- E1763 Guide for Interpretation and Use of Results from

³ 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.

Interlaboratory Testing of Chemical Analysis Methods (Withdrawn 2015)⁴
 E1806 Practice for Sampling Steel and Iron for Determination of Chemical Composition
 E1950 Practice for Reporting Results from Methods of Chemical Analysis
 E2972 Guide for Production, Testing, and Value Assignment of In-House Reference Materials for Metals, Ores, and Other Related Materials
 2.2 *Other ASTM Documents*
 ASTM MNL 7 Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis⁵

3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this test method, refer to Terminology E135.

4. Summary of Test Method

4.1 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 of the analytical lines are recorded. The most sensitive lines of arsenic, boron, carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, and tin lie in the vacuum ultraviolet region. The absorption of the radiation by air in this region is overcome by evacuating the spectrometer or by use of a vacuum ultraviolet (VUV) transparent gas and flushing the spark chamber with argon.

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

6.1 *Sampling Devices:*

6.1.1 Refer to Practice E1806 for devices and practices to sample liquid and solid iron and steel.

6.2 *Excitation Source*, capable of providing electrical parameters to spark a sample. See 11.1 for details.

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 counter electrode of rod form.

6.3.1 Follow the manufacturer's recommendations for cleaning the spark chamber. During continuous operation, this typically should be done every 24 h. Follow the manufacturer's recommendations for cleaning the entrance lens or window

⁴ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

⁵ ASTM Manual Series, ASTM International, 8th edition, 2010.

(verifier data or other reference sample intensity data can typically indicate when this is necessary).

6.4 *Spectral Lines*—Table 1 lists spectral lines and internal standards usable for carbon and low alloy steel. The spectrometer must be able to measure at least one of the listed spectral lines for each of the listed elements. Spectral lines other than those listed in Table 1 may be used provided it can be shown experimentally that equivalent precision and accuracy are obtained.

6.5 *Measuring System*, spectrometer capable of converting light intensities to measurable electrical signals. The measuring system may consist of one of the following configurations:

6.5.1 A photomultiplier (PMT) array 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.

6.5.2 A semiconductor detector array (CCD or CMOS), pixel selection electronics to reset the pixels and to transport the voltage of an individual pixel to one or more output ports of the detector arrays, and a voltage measuring system to register the voltage of said output ports.

6.5.3 A hybrid design using both photomultipliers and semiconductor arrays.

6.6 *Optical Path*—If the instrument is operated using a VUV transparent gas, check the manufacturer's suggested gas purity. It may be necessary to have a gas purification system consisting of a circulation pump and a cleaning cartridge to keep the O₂ (g) residual <500 ng/g and H₂O (g) residual <1 µg/g and remove impurities of nitrogen and hydrocarbons. If the instrument is using a vacuum pump, it should be capable of maintaining a vacuum of 3.33 Pa (25 µm Hg) or less.

NOTE 2—A pump with a displacement of at least 0.23 m³/min (8 ft³/min) is usually adequate.

6.7 *Gas System*, consisting of an argon supply with pressure and flow regulation. Automatic sequencing shall be provided to actuate the flow at a given rate for a specific time interval. The flow rate may be manually or automatically set. The argon system shall be in accordance with Practice E406.

7. Reagents and Materials

7.1 *Counter Electrodes*—The counter electrodes can be silver or thoriated tungsten rods, or other material, provided it can be shown experimentally that equivalent precision and bias are obtained. The rods can vary in diameter from 1.5 mm to 6.5 mm (depending on the instrument design) and typically are machined to a 90° or 120° angled tip.

7.1.1 A black deposit will collect on the tip of the electrode. This deposit should be removed between specimens (typically with a wire brush). If not removed, it can reduce the overall intensity of the spectral radiation or transfer slight amounts of contamination between specimens, or both. The number of acceptable burns on an electrode varies from one instrument to another, and should be established in each laboratory.

NOTE 3—It has been reported that thousands of burns can be performed on a thoriated tungsten electrode before replacement is necessary.

TABLE 1 Internal Standard and Analytical Lines

Element	Wavelength, λ , nm	Line Classification ^A	Possible Interference ^B
Aluminum	396.15	I	Mo
	394.40	I	V, Mn, Mo, Ni
	308.22	I	V, Mn
Antimony	217.6	I	Ni, Nb, Mn, W
Arsenic	189.04	I	V, Cr
	197.20	I	Mo, W
	193.76	I	Mn
Boron	345.13	II	
	182.64	I	S, Mn, Mo
	182.59	I	W, Mn, Cu
Calcium	393.37	II	
	396.85	II	Nb
Carbon	165.81	I	Cr
	193.09	I	Al
Chromium	312.26	II	V
	313.21	II	
	425.44	I	
	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
	258.03	II	Fe, Mn, W
Copper	212.3	II	Si
	324.75	I	Mn, Nb
	327.40	I	Nb
	224.26	II	W, Ni
	213.60	II	Mo, Cr
	510.55	I	W
	136.14	II	
	157.40	II	
	172.24	II	
	174.28	II	
	179.34	I	
	182.88	II	
	205.13	I	
	216.20	I	
	217.81	I	
	218.65	II	
	226.76	II	
	235.12	II	
	239.15	I	
	277.21	I	
281.33	I		
285.18	I		
296.69	II		
297.05	I		
299.95	I		
300.81	I		
303.74	I		
304.76	I		
Iron (IS)	305.91	I	
	316.79	I	
	517.16	I	
	321.33	II	
	487.21	I	
	458.38	II	
	413.70	I	
	410.75	I	
	383.63	I	
	363.83	I	
	339.93	I	
	328.68	I	
	308.37	I	
	282.33	I	
249.59	I		

Normen-Download-Beuth-Deimler-AG 019 - HPC D652 - GR/PQS-KdNr. 9071285-LfNr. 7487463001-2016-04-27 15:16

TABLE 1 *Continued*

Element	Wavelength, λ , nm	Line Classification ^A	Possible Interference ^B
	226.76	II	
	218.65	II	
	216.20	I	
	193.53	II	
	190.48	I	
	187.75	II	
	149.65	II	
	271.44	II	
	273.07	II	
	492.39	I	Co
Lead	405.75	I	Mn
Manganese	293.31	II	Cr, Mo, Ni
	255.86	II	Zr
	263.82	II	Al, W
Molybdenum	379.83	II	Mn
	202.03	II	
	277.54	I	Cu, V, Co, Mn
	281.61	II	Mn
	386.41	I	V, Cr
Nickel	471.44	I	
	227.73	II	
	341.48	I	
	352.45	I	
	231.60	II	Co, Ti
	227.02	II	Nb, W
	243.79	II	Co, Fe, Ni
Niobium	313.08	II	Ti, V
	319.50	II	Mo, Al, V
Nitrogen	149.26	I	Fe, Ti, Si, Mn, Cu, Ni and nitride forming elements such as Ti
Phosphorus	178.29	I	Mo
Silicon	288.16	I	Mo, Cr, W
	251.61	I	Fe, V
	212.41	I	Mo, Ni, V, Cu, Nb
	390.55	I	Cr, Cu, W, Ti
Sulfur	180.73	I	Mn
Tin	147.52	II	
	189.99	II	Mn, Mo, Al
Titanium	308.80	I	Cu, Co
	337.28	II	Nb
Tungsten	324.20	II	Nb
	400.88	I	
	202.99	II	Ti, V, Mn
	220.50	II	Co
Vanadium	437.92	I	
	310.23	II	Fe, Mo, Nb, Ni
Zirconium	468.78	I	
	349.62	II	
	343.82	II	W
	206.19	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.

Normen-Download-Beuth-Deimter AG 019 - HPC D652 - GR/POS-KdNr: 9071285-LfNr: 7487463001-2016-04-27 15:16

ANEXO H

 SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Hoja N° 1 de 1
Edición: 05		

INFORME DE RESULTADOS N° LE-2019-384 **FECHA:** 2019-08-16

INFORMACIÓN GENERAL			
N° SOLICITUD DE TRABAJO:	ST-2019-280		
ENTIDAD/EMPRESA ⁽¹⁾ :	FUNDI LASER		
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO:	2019-08-13	E-MAIL ⁽¹⁾ :	fundi_laser@yahoo.com
MUESTREO/ TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR ⁽¹⁾ :	FUNDI LASER	ACTA No. ⁽¹⁾ :	No Aplica

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN				
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:	2019-08-15			
NORMA DE REQUISITOS ⁽¹⁾ :	NTE INEN 2499			
MÉTODO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	LE-PTE-G-02. Ref: NTE INEN – ISO 6892-1			
LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO:	LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES			
CONDICIONES AMBIENTALES:	Temperatura, °C:	No Aplica	Humedad Relativa, %:	No Aplica
EQUIPOS UTILIZADOS:	Máquina Universal de Ensayos. Código: 2499; Calibrador. Código: EI-G-16.			
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	Probeta Grado: 65-45-12	MARCA ⁽¹⁾ :	LASER	
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:	OE-2019-280-05	CÓDIGO DE CLIENTE ⁽¹⁾ :	A	

Área de sección (*) mm ²	Carga de fluencia (*) kN	Carga de rotura (*) kN	Límite de fluencia (*) MPa	Resistencia a la Tracción ⁽²⁾ MPa	Porcentaje de Alargamiento ⁽²⁾ %
130,34	45,75	73,89	350,97	566,87	13,28

Requisito NTE INEN 2499:2009			
Aleación designación	Límite de fluencia Mínimo MPa	Resistencia a la Tracción Mínima MPa	Porcentaje de Alargamiento Mínimo %
65-45-12	310	448	12

OBSERVACIONES:

- Laboratorio de Ensayos Acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-002.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
- La geometría de las probetas para ejecución del ensayo de Resistencia a la Tracción es responsabilidad del cliente y podría afectar a la validez de los resultados.
- (2) Incertidumbre Total Expandida: Resistencia a la Tracción: $U = \pm 11,25\%$ (k=2); % Alargamiento: $U = \pm 11,77\%$ (k=2)

- Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son exclusivos del mismo.
 - Este Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.


Realizado por:

Ing. Diego Armando Trávez

Autorizado por:

Ing. Juan Carlos Viteri

DIRECCIÓN - INEN: Autopista General Rumiñahui. Puente Peatonal N° 5, 500 m a mano derecha. Barrio El Rosal.

 SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Edición: 05	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Hoja N° 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS N° LE-2019-387 **FECHA:** 2019-08-16

INFORMACIÓN GENERAL			
N° SOLICITUD DE TRABAJO:	ST-2019-280		
ENTIDAD/EMPRESA ⁽¹⁾ :	FUNDI LASER		
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO:	2019-08-13	E-MAIL ⁽¹⁾ :	fundi_laser@yahoo.com
MUESTREO/ TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR ⁽¹⁾ :	FUNDI LASER	ACTA No. ⁽¹⁾ :	No Aplica

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN				
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:	2019-08-15			
NORMA DE REQUISITOS ⁽¹⁾ :	NTE INEN 2499			
MÉTODO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	LE-PTE-G-02. Ref: NTE INEN - ISO 6892-1			
LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO:	LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES			
CONDICIONES AMBIENTALES:	Temperatura, °C:	No Aplica	Humedad Relativa, %:	No Aplica
EQUIPOS UTILIZADOS:	Máquina Universal de Ensayos. Código: 2499; Calibrador. Código: EI-G-16.			
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	Probeta Grado: 65-45-12	MARCA ⁽¹⁾ :	LASER	
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:	OE-2019-280-08	CÓDIGO DE CLIENTE ⁽¹⁾ :	D	

Área de sección (*) mm ²	Carga de fluencia (*) kN	Carga de rotura (*) kN	Límite de fluencia (*) MPa	Resistencia a la Tracción ⁽²⁾ MPa	Porcentaje de Alargamiento ⁽²⁾ %
132,02	51,13	92,24	387,29	698,67	10,14

Requisito NTE INEN 2499:2009			
Aleación designación	Límite de fluencia Mínimo MPa	Resistencia a la Tracción Mínima MPa	Porcentaje de Alargamiento Mínimo %
65-45-12	310	448	12

OBSERVACIONES:

- Laboratorio de Ensayos Acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-002.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
- La geometría de las probetas para ejecución del ensayo de Resistencia a la Tracción es responsabilidad del cliente y podría afectar a la validez de los resultados.
- (2) Incertidumbre Total Expandida: Resistencia a la Tracción: $U = \pm 11,25\% (k=2)$; % Alargamiento: $U = \pm 11,77\% (k=2)$

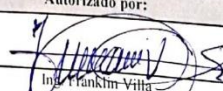
- Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son exclusivos del mismo.
 - Este Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Realizado por:



Ing. Diego Armando Trávez

Autorizado por:



Ing. Franklin Villa

DIRECCIÓN - INEN: Autopista General Rumiñahui. Puente Peatonal N° 5, 500 m a mano derecha - Barrio El Rosal.

LE-F-MC-07

(1) Informa...

 SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Hoja N° 1 de 1
	Edición: 05	

INFORME DE RESULTADOS N° LE-2019-386 **FECHA:** 2019-08-16

INFORMACIÓN GENERAL			
N° SOLICITUD DE TRABAJO:	ST-2019-280		
ENTIDAD/EMPRESA ⁽¹⁾ :	FUNDI LASER		
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO:	2019-08-13	E-MAIL ⁽¹⁾ :	fundi_laser@yahoo.com
MUESTREO/TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR ⁽¹⁾ :	FUNDI LASER	ACTA No. ⁽¹⁾ :	No Aplica

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:	2019-08-15		
NORMA DE REQUISITOS ⁽¹⁾ :	NTE INEN 2499		
MÉTODO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	LE-PTE-G-02. Ref: NTE INEN - ISO 6892-1		
LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO:	LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES		
CONDICIONES AMBIENTALES:	Temperatura, °C:	No Aplica	Humedad Relativa, %:
			No Aplica
EQUIPOS UTILIZADOS:	Máquina Universal de Ensayos. Código: 2499; Calibrador. Código: EI-G-16.		
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	Probeta Grado: 65-45-12	MARCA ⁽¹⁾ :	LASER
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:	OE-2019-280-07	CÓDIGO DE CLIENTE ⁽¹⁾ :	C

Área de sección (*) mm ²	Carga de fluencia (*) kN	Carga de rotura (*) kN	Límite de fluencia (*) MPa	Resistencia a la Tracción ⁽²⁾ MPa	Porcentaje de Alargamiento ⁽²⁾ %
130,24	51,34	91,41	394,17	701,84	10,86

Requisito NTE INEN 2499:2009			
Alcación designación	Límite de fluencia Mínimo MPa	Resistencia a la Tracción Mínima MPa	Porcentaje de Alargamiento Mínimo %
65-45-12	310	448	12

OBSERVACIONES:

- Laboratorio de Ensayos Acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-002.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
- La geometría de las probetas para ejecución del ensayo de Resistencia a la Tracción es responsabilidad del cliente y podría afectar a la validez de los resultados.
- (2) Incertidumbre Total Expandida: Resistencia a la Tracción: $U = \pm 11,25\%$ (k=2); % Alargamiento: $U = \pm 11,77\%$ (k=2)


- Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son exclusivos del mismo.
 - Este Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Realizado por:



Ing. Diego Armando Trávez

Autorizado por:



Ing. Franklin Villa

DIRECCIÓN - INEN: Autopista General Rumiñahui. Puente Peatonal N° 5, 500 m a mano derecha. Barrio El Rosal.

 SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACION Edición: 05	LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE RESULTADOS	Hoja N° 1 de 1
---	---	----------------

INFORME DE RESULTADOS N° LE-2019-385 **FECHA:** 2019-08-16

INFORMACIÓN GENERAL			
N° SOLICITUD DE TRABAJO:	ST-2019-280		
ENTIDAD/EMPRESA ⁽¹⁾ :	FUNDI LASER		
FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO:	2019-08-13	E-MAIL ⁽¹⁾ :	fundi_laser@yahoo.com
MUESTREO/TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR ⁽¹⁾ :	FUNDI LASER	ACTA No. ⁽¹⁾ :	No Aplica

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN				
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:	2019-08-15			
NORMA DE REQUISITOS ⁽¹⁾ :	NTE INEN 2499			
MÉTODO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	LE-PTE-G-02. Ref: NTE INEN - ISO 6892-1			
LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO:	LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES			
CONDICIONES AMBIENTALES:	Temperatura, °C:	No Aplica	Humedad Relativa, %:	No Aplica
EQUIPOS UTILIZADOS:	Máquina Universal de Ensayos. Código: 2499; Calibrador. Código: EI-G-16.			
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO ⁽¹⁾ :	Probeta Grado: 65-45-12	MARCA ⁽¹⁾ :	LASER	
CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:	OE-2019-280-06	CÓDIGO DE CLIENTE ⁽¹⁾ :	B	

Área de sección (*) mm ²	Carga de fluencia (*) kN	Carga de rotura (*) kN	Límite de fluencia (*) MPa	Resistencia a la Tracción ⁽²⁾ MPa	Porcentaje de Alargamiento ⁽²⁾ %
129,89	53,24	93,98	409,90	723,52	9,90

Requisito NTE INEN 2499:2009			
Alcación designación	Límite de fluencia Mínimo MPa	Resistencia a la Tracción Mínima MPa	Porcentaje de Alargamiento Mínimo %
65-45-12	310	448	12

OBSERVACIONES:

- Laboratorio de Ensayos Acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-002.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
- La geometría de las probetas para ejecución del ensayo de Resistencia a la Tracción es responsabilidad del cliente y podría afectar a la validez de los resultados.
- (2) Incertidumbre Total Expandida: Resistencia a la Tracción: $U = \pm 11,25\%$ (k=2); % Alargamiento: $U = \pm 11,77\%$ (k=2)

- Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son exclusivos del mismo.
 - Este Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Realizado por:

Ing. Diego Armando Trávez

Autorizado por:

Ing. Franklin Villa

DIRECCIÓN - INEN: Autopista General Rumiñahui. Puente Peatonal N° 5, 500 m a mano derecha. Barrio El Rosal.



Oficio Nro. INEN-DVC-2019-0932-OF
Quito, D.M., 12 de noviembre de 2019

Asunto: Informes de Resultados N° LE-2019-523, LE-2019-524

Licenciada
Norma Isabel Tirado Lozada
REPRESENTANTE LEGAL
En su Despacho

De mi consideración:

En atención a lo requerido a través de la Solicitud de Trabajo N° ST-2019-354, adjunto en físico los Informes de Resultados N° LE-2019-523, LE-2019-524, referente a ensayos de medición de flecha residual y comportamiento a la carga total en una tapa redonda C400 y una rejilla sin cerco C400; Las muestras fueron entregadas en los Laboratorios del INEN en Conocoto el 8 de noviembre de 2019

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Dr. Hugo Fabián Ayala Andrade
DIRECTOR TÉCNICO DE VALIDACIÓN Y CERTIFICACIÓN

Copia:
Señor Ingeniero
Diego Armando Travez Tacuri
Servidor Público 5

dt

INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO: 2019-09-23 E-MAIL⁽¹⁾: fundi_laser@yahoo.com
 ESTREO/TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR⁽¹⁾: FUNDILASER ACTA No.⁽¹⁾: No Aplica

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2019-11-07
 NORMA DE REQUISITOS⁽¹⁾: NTE INEN 2499
 MÉTODO DE ENSAYO⁽¹⁾: LE-PTE-G-02 Ref: NTE INEN - ISO 6892-1
 LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES
 CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura, °C: No Aplica Humedad Relativa, %: No Aplica
 EQUIPOS UTILIZADOS: Máquina Universal de Ensayos Código: 2499, Calibrador. Código: EL-G-16
 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO⁽¹⁾: Probeta de hierro nodular MARCA⁽¹⁾: FUNDILASER
 CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO: OE-2019-318-05 a OE-2019-318-08 CÓDIGO DE CLIENTE⁽¹⁾: 015, 016, 017 y 018


Código de objeto de ensayo	Área de sección (*) mm ²	Carga de fluencia (*) kN	Carga de rotura (*) kN	Límite de fluencia (*) MPa	Resistencia a la Tracción ⁽¹⁾ MPa	Porcentaje de Alargamiento ⁽¹⁾ %
OE-2019-318-05	12,91	53,02	93,74	404,92	715,87	11,62
OE-2019-318-06	12,97	50,82	88,52	384,37	669,51	13,42
OE-2019-318-07 ⁽¹⁾	12,82	52,53	92,56	406,76	716,81	11,18
OE-2019-318-08	13,03	51,58	89,44	386,82	670,74	12,70

Requisito NTE INEN 2499:2009			
Aleación designación ⁽¹⁾	Límite de fluencia Mínimo MPa	Resistencia a la Tracción Mínima MPa	Porcentaje de Alargamiento Mínimo %
65-45-12	310	448	12

BSERVACIONES:

- Laboratorio de Ensayos Acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-002.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
- La geometría de las probetas para ejecución del ensayo de Resistencia a la Tracción es responsabilidad del cliente y podría afectar a la validez de los resultados.
- (3) Incertidumbre Total Expandida: Resistencia a la Tracción: $U = \pm 11,25\%$ (k=2), % Alargamiento: $U = \pm 11,77\%$ (k=2)
- (4) El objeto de ensayo OE-2019-318-07 falla fuera de la zona calibrada

Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son exclusivos del mismo.
 Este Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Realizado por:

 Ing. César Reyes

Autorizado por:

 Ing. Sandra Viracucha

DIRECCIÓN - INEN: Autopista General Rumiñahui. Puente Peatonal N° 5, 500 m a mano derecha Barrio El Rosal

(1) Información proporcionada por el cliente

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS: 2019-10-03 y 2019-11-07
FORMA DE REQUISITOS⁽¹⁾: NTE INEN 2499
TÍTULO DE ENSAYO⁽¹⁾: LE-PTE-G-02. Ref.: NTE INEN - ISO 6892-1
LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES
CONDICIONES AMBIENTALES: Temperatura, °C: No Aplica Humedad Relativa, %: No Aplica
EQUIPOS UTILIZADOS: Máquina Universal de Ensayos. Código: 2499; Calibrador. Código: EI-G-16.
DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO⁽¹⁾: Probeta de hierro nodular **MARCA⁽¹⁾:** FUNDILASER
TIPO DE OBJETO DE ENSAYO: OE-2019-318-01 a OE-2019-318-04 **CÓDIGO DE CLIENTE⁽¹⁾:** 011, 012, 013 y 014


Id. de objeto de ensayo	Área de sección (*) mm ²	Carga de fluencia (*) kN	Carga de rotura (*) kN	Límite de fluencia (*) MPa	Resistencia a la Tracción ⁽²⁾ MPa	Porcentaje de Alargamiento ⁽¹⁾ %
E-2019-318-01	12,95	61,82	92,28	469,53	700,92	11,48
E-2019-318-02	12,87	51,74	90,57	397,96	696,18	9,86
E-2019-318-03	12,85	51,57	90,10	397,48	694,48	11,86
E-2019-318-04	13,03	53,43	91,06	401,01	683,40	10,76

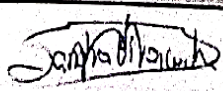
Requisito NTE INEN 2499:2009			
Alfación designación ⁽¹⁾	Límite de fluencia Mínimo MPa	Resistencia a la Tracción Mínima MPa	Porcentaje de Alargamiento Mínimo %
65-45-12	310	448	12

NOTAS:

- Laboratorio de Ensayos Acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-002.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
- La geometría de las probetas para ejecución del ensayo de Resistencia a la Tracción es responsabilidad del cliente y podría afectar a la validez de los resultados.
- (2) Incertidumbre Total Expandida: Resistencia a la Tracción: $U = \pm 11,25\%$ ($k=2$); % Alargamiento: $U = \pm 11,77\%$ ($k=2$)

Los resultados de este informe se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son exclusivos del mismo.
 Informe de Resultados no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Realizado por:

 Ing. César Reyes

Autorizado por:

 Ing. Sandra Viracuchan

Edición: 05

INFORME DE RESULTADOS

Hoja N°

INFORME DE RESULTADOS N°

I.E-2019-483

FECHA:

2019-11-07

INFORMACIÓN GENERAL

N° SOLICITUD DE TRABAJO:

ST-2019-318

ENTIDAD/EMPRESA⁽¹⁾:

FUNDILASER

FECHA DE INGRESO DE OBJETO DE ENSAYO:

2019-09-23

E-MAIL⁽¹⁾:

fundi_laser@yahoo.com

MUESTREO/ TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR⁽¹⁾:

FUNDILASER

ACTA No.⁽¹⁾:

No Aplica

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:

2019-11-07

NORMA DE REQUISITOS⁽¹⁾:

NTE INEN 2499

MÉTODO DE ENSAYO⁽¹⁾:

LE-PTE-G-02 Ref: NTE INEN - ISO 6892-1

LUGAR DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO:

LABORATORIO DE ENSAYOS GENERALES

CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura, °C:

No Aplica

Humedad Relativa, %:

No Aplica

EQUIPOS UTILIZADOS:

Máquina Universal de Ensayos, Código: 2499, Calibrador, Código: EI-G-16.

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ENSAYO⁽¹⁾:

Probeta de hierro nodular

MARCA⁽¹⁾:

FUNDILASER

CÓDIGO DE OBJETO DE ENSAYO:

OE-2019-318-09 a OE-2019-318-13

CÓDIGO DE CLIENTE⁽¹⁾:

019, 020, 021, 022 y 0.23

Código de objeto de ensayo	Área de sección (*) mm ²	Carga de fluencia (*) kN	Carga de rotura (*) kN	Límite de fluencia (*) MPa	Resistencia a la Tracción ⁽⁵⁾ MPa	Porcentaje de Alargamiento ⁽⁵⁾ %
OE-2019-318-09 ⁽⁶⁾	12,72	50,50	91,67	397,85	722,20	7,80
OE-2019-318-10	13,02	53,49	96,21	401,94	722,90	10,86
OE-2019-318-11	12,81	50,59	92,85	392,23	719,89	11,60
E-2019-318-12 ⁽⁶⁾	12,78	51,61	91,32	402,46	712,16	5,90
OE-2019-318-13	12,76	52,52	57,60	410,53	450,28	2,44

Requisito NTE INEN 2499:2009

Atención designación ⁽¹⁾	Límite de fluencia Mínimo MPa	Resistencia a la Tracción Mínima MPa	Porcentaje de Alargamiento Mínimo %
65-45-12	310	448	12

VACIONES:

- Laboratorio de Ensayos Acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-002.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
- La geometría de las probetas para ejecución del ensayo de Resistencia a la Tracción es responsabilidad del cliente y podría afectar a la validez de los resultados.
- (5) Incertidumbre Total Expandida: Resistencia a la Tracción: $U = \pm 11,25\%$ ($k=2$); % Alargamiento: $U = \pm 11,77\%$ ($k=2$)
- (6) Los objetos de ensayo OE-2019-318-09 y OE-2019-318-12 fallan fuera de la zona calibrada

ANEXO I



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Ambato, 04 de mayo del 2020

CERTIFICADO

A quien corresponda:

Yo, **Ing. Jorge Rodas B. MEng.** en calidad de **Supervisor Área de Ensayos e Inspecciones** del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (CFPMC) de H. Gobierno Provincial de Tungurahua, por medio de la presente me permito poner en su conocimiento que el Sr. **Villagrán Ortiz Jairo Fabricio** con CI: **1804726352**, utilizo los servicios de nuestra institución para la realización de ensayos de tracción de material metálico: Hierro nodular grado: 65-45-12 (Declarado por el cliente) bajo normativa ASTM E8 desarrollado en 2 probetas; servicio prestado en base a la proforma **RM_2019_080**, siguiendo la factura No.: **001-002-0000086333**.

Sin otro particular y para constancia establezco mi firma.

.....
Ing. Jorge A. Rodas B. MEng.
Supervisor Técnico de Ensayos e Inspecciones
Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero
H. Gobierno Provincial Tungurahua
Contacto: +593 3 3730350 Ext: 1
Móvil: +593 991436377



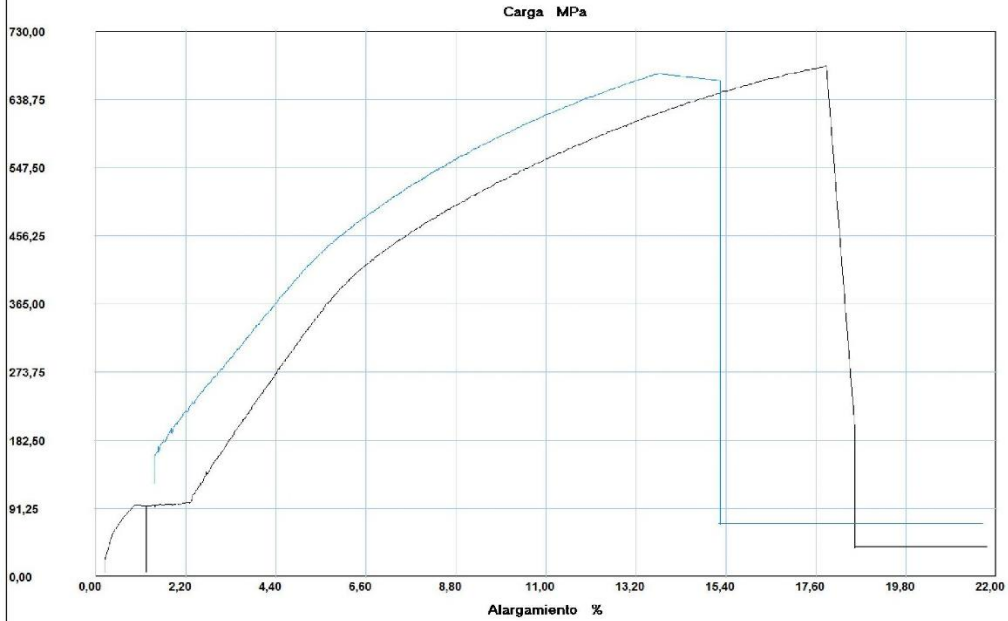
INFORME :
 ENSAYO :

ETM 01
 TRACCION



Referencia : MATERIAL METALICO
 Cliente :
 Calidad : RM_2019_080
 Operario : A. Técnico
 Norma : ASTM E8
 Fecha : 03/01/2020
 Hora : 10:19:33
 Temperatura : 20,1
 H.R.% : 69,8
 Pedido : 180472635220191213

JAIRO FABRICIO VILLAGRAN ORTIZ
 Hierro Nodular Grado 65-45-12
 (Declarado por el cliente)



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
■ 1	89750,01	89750,01	18450,00	683,51	683,51	140,51
■ 2	88600,01	88600,01	22900,00	673,71	673,71	174,13
Media	89175,010	89175,010	20675,000	678,614	678,614	157,321
Mediana	89175,010	89175,010	20675,000	678,614	678,614	157,321
Desv. Std	813,173	813,173	3146,625	6,930	6,930	23,773
Coef. V.	0,009	0,009	0,152	0,010	0,010	0,151
Máximo	89750,010	89750,010	22900,000	683,514	683,514	174,131
Mínimo	88600,010	88600,010	18450,000	673,714	673,714	140,511
Rango	1150,000	1150,000	4450,000	9,801	9,801	33,621
CPK	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
+3 Sigma	91614,528	91614,528	30114,876	699,404	699,404	228,641
-3 Sigma	86735,492	86735,492	11235,124	657,824	657,824	86,001

Parametros

Precarga	=	3000,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	1500000,00	N
Limite Desplazamiento	=	500,00	mm
Stop Ext	=	500,00	mm

Velocidades

Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	0,10	mm/min
Posicionamiento	=	100,00	mm/min

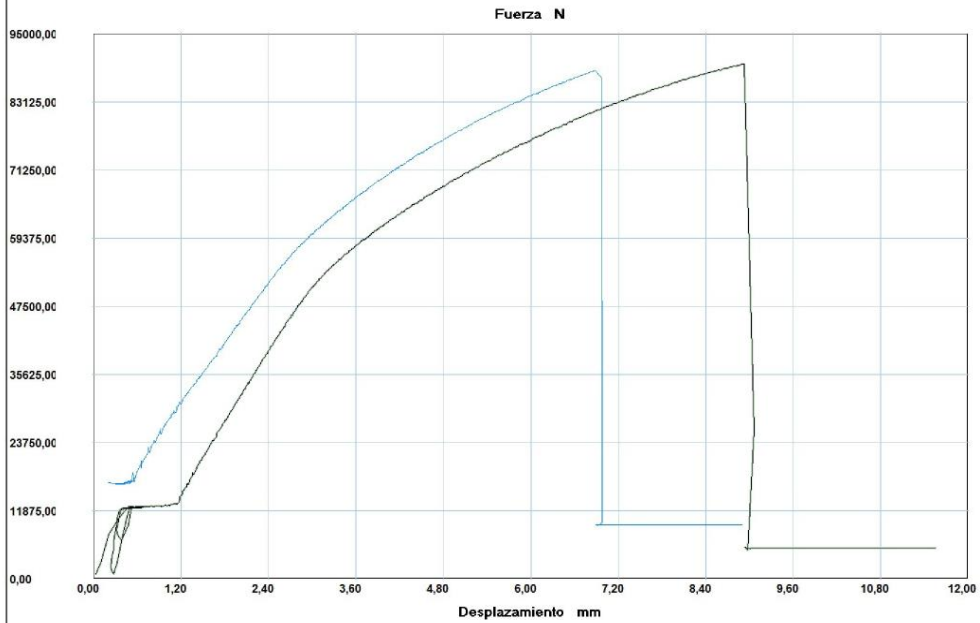
INFORME :
ENSAYO :

ETM 01
TRACCION



Referencia : MATERIAL METALICO
 Cliente :
 Calidad : RM_2019_080
 Operario : A. Técnico
 Norma : ASTM E8
 Fecha : 03/01/2020
 Hora : 10:19:33
 Temperatura : 20,1
 H.R.% : 69,8
 Pedido : 180472635220191213

JAIRO FABRICIO VILLAGRAN ORTIZ
 Hierro Nodular Grado 65-45-12
 (Declarado por el cliente)



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
■ 1	89750,01	89750,01	18450,00	683,51	683,51	140,51
■ 2	88600,01	88600,01	22900,00	673,71	673,71	174,13
Media	89175,010	89175,010	20675,000	678,614	678,614	157,321
Mediana	89175,010	89175,010	20675,000	678,614	678,614	157,321
Desv. Std	813,173	813,173	3146,625	6,930	6,930	23,773
Coef. V.	0,009	0,009	0,152	0,010	0,010	0,151
Máximo	89750,010	89750,010	22900,000	683,514	683,514	174,131
Mínimo	88600,010	88600,010	18450,000	673,714	673,714	140,511
Rango	1150,000	1150,000	4450,000	9,801	9,801	33,621
CPK	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
+3 Sigma	91614,528	91614,528	30114,876	699,404	699,404	228,641
-3 Sigma	86735,492	86735,492	11235,124	657,824	657,824	86,001

Parametros

Precarga	=	3000,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	1500000,00	N
Limite Desplazamiento	=	500,00	mm
Stop Ext	=	500,00	mm

Velocidades

Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	0,10	mm/min
Posicionamiento	=	100,00	mm/min

ANEXO J



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



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

ANÁLISIS ESPECTROMÉTRICO

MARZO 2020
AMBATO – ECUADOR

INFORME TÉCNICO
Lb1-0001-2020

Objetivo

Realizar el análisis espectrométrico a la probeta, para determinar su composición química.

Alcance

Determinación de los componentes químicos que tienen los aceros propuestos por el interesado.

ANTECEDENTES:

Con fecha 05 de marzo de 2020, el Sr. Jairo Villagrán domiciliado en la ciudad de Ambato, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, determinar la composición química de los aceros propuestos.

Se reciben 2 muestras o probetas, las designaciones: ACERO NODULAR P15, ACERO NODULAR P17.



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

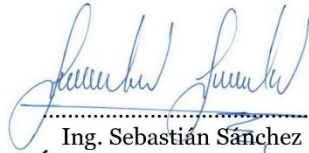
Sample Identification										
SampleNo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	>5.400	1.745	0.179	0.205	0.038	0.057	0.0028	0.039	0.128	0.029
2.	>5.400	1.915	0.171	0.166	0.031	0.056	0.0018	0.034	0.152	0.029
3.	>5.400	3.897	0.170	0.373	0.062	0.056	0.010	0.051	0.150	0.063
4.	>5.400	3.631	0.181	0.185	0.037	0.062	0.0042	0.039	0.136	0.045
5.	>5.400	2.742	0.179	0.182	0.030	0.055	0.0024	0.037	0.151	0.038
↑										
∅	~5.400	2.786	0.176	0.222	0.040	0.057	0.0042	0.040	0.143	0.041
↓										
σ		0.076	0.0051	0.085	0.013	0.0028	0.0033	0.0065	0.011	0.014
υ		4.255	2.898	38.29	32.50	4.912	78.57	16.25	7.692	34.15
	As	B	Bi	Ce	Co	Mg	Nb	Pb	Sb	Sn
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.020	0.0077	<0.0030	0.043	0.0029	0.055	0.0027	>0.036	0.112	0.021
2.	0.017	0.0054	<0.0030	0.037	0.0027	0.049	0.0024	>0.036	0.084	0.016
3.	0.032	0.024	<0.0030	0.081	0.0043	>0.096	0.0077	>0.036	>0.180	0.031
4.	0.020	0.012	<0.0030	0.045	0.0032	>0.096	0.0031	>0.036	0.098	0.019
5.	0.016	0.0097	<0.0030	0.041	0.0031	~0.087	0.0023	>0.036	0.088	0.017
↑										
∅	0.021	0.012	<0.0030	0.049	0.0032	0.077	0.0036	~0.036	0.112	0.021
↓										
σ	0.0064	0.0073		0.018	0.00062	0.023	0.0023		0.039	0.0060
υ	30.48	60.83		36.73	19.37	29.87	63.89		34.82	28.57
	La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe		
	%	%	%	%	%	%	%	%		
1.	0.0017	0.0096	<0.00050	0.029	<0.0010	<0.0010	>0.040	91.75		
2.	0.0025	0.0077	<0.00050	0.041	<0.0010	<0.0010	0.025	91.88		
3.	0.0009	0.011	0.0017	0.050	0.0030	0.0020	>0.040	91.11		
4.	0.0045	0.010	<0.00050	0.043	<0.0010	0.0012	0.033	91.61		
5.	0.0023	0.0080	<0.00050	0.039	0.0011	<0.0010	0.028	91.77		
↑										
∅	0.00238	.0093	0.00074	0.040	0.0014	0.0012	>0.033	91.62		
↓										
σ	0.011	0.0014	0.00054	0.0076	0.00088	0.00044	0.0068	0.303		

Fe120
Bruker ElementalConcentrations
1/1

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

Sample Identification										
SampleNo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	>5.400	1.824	0.174	0.983	0.110	0.055	0.0097	0.048	0.123	0.035
2.	>5.400	3.543	0.146	0.556	0.103	0.048	0.021	0.071	0.132	~0.130
3.	>5.400	3.892	0.148	0.872	0.116	0.047	0.022	0.071	0.125	0.116
4.	>5.400	1.999	0.165	0.641	0.092	0.051	0.011	0.051	0.125	0.059
5.	>5.400	2.346	0.167	0.432	0.078	0.055	0.018	0.061	0.145	0.099
↑										
∅	-5.400	2.721	0.160	0.697	0.100	0.051	0.016	0.060	0.130	0.088
↓										
σ		1.218	0.012	0.227	0.015	0.0038	0.0057	0.011	0.0091	0.040
υ		41.73	7.500	32.57	15.00	7.451	35.63	18.33	7.000	45.45
	As	B	Bi	Ce	Co	Mg	Nb	Pb	Sb	Sn
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.066	0.034	<0.0030	0.092	0.0054	>0.096	0.0093	>0.036	>0.180	0.058
2.	0.063	0.098	<0.0030	0.133	0.0078	>0.096	0.014	>0.036	>0.180	0.060
3.	0.065	0.071	<0.0030	0.131	0.0075	>0.096	0.014	>0.036	>0.180	0.060
4.	0.059	0.036	<0.0030	0.086	0.0059	>0.096	0.0093	>0.036	>0.180	0.051
5.	0.040	0.050	<0.0030	0.110	0.0071	>0.096	0.012	>0.036	>0.180	0.041
↑										
∅	0.059	0.058	<0.0030	0.110	0.0067	-0.096	0.012	-0.036	-0.180	0.054
↓										
σ	0.011	0.027		0.022	0.0010		0.0024			0.0082
υ	18.64	46.55		20.00	14.93		20.00			15.19
	La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe		
	%	%	%	%	%	%	%	%		
1.	0.015	0.0095	0.0026	>0.072	0.0054	0.0022	>0.040	90.50		
2.	0.026	0.012	0.0052	>0.072	>0.036	0.0042	>0.040	87.95		
3.	0.028	0.012	0.0052	>0.072	0.017	0.0036	>0.040	88.33		
4.	0.018	0.0095	0.0027	>0.072	0.012	0.0017	>0.040	90.67		
5.	0.022	0.010	0.0041	>0.072	0.027	0.0032	>0.040	90.43		
↑										
∅	0.022	0.011	0.0040	-0.072	0.019	0.0030	>0.040	89.58		
↓										
σ	0.0092	0.0014	0.0013		0.012	0.0010		1.321		

Fe120
Bruker ElementalConcentrations
1/1

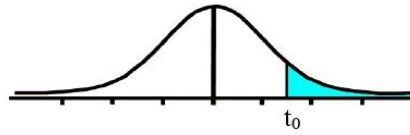


Ing. Sebastián Sánchez
TÉCNICO LABORATORISTA

NOTA: El presente documento sea utilizado por el Sr. Estudiante conforme sean sus necesidades y bajo responsabilidad de este, pero se compromete a retirar el informe físico legalizado que, debido la emergencia sanitaria no puede ser entregado a la fecha correspondiente.

ANEXO K

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