



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

Seminario de Graduación 2010, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

TEMA:

“ESTUDIO DEL RECOCIDO EN EL HIERRO FUNDIDO GRIS Y SU
INCIDENCIA EN LA DUREZA”

AUTOR: María Belén Paredes Robalino

TUTOR: Ing. Henry Vaca

AMBATO-ECUADOR

2011

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera Mecánica, con el tema: “ESTUDIO DEL RECOCIDO EN EL HIERRO FUNDIDO GRIS Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA”, elaborado por la señora María Belén Paredes Robalino, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisada en cada uno de sus capítulos.
- Está concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, agosto del 2011

.....
Ing. Henry Vaca

DEDICATORIA

A mis padres Amado y Eva, por ser la base fundamental de mi vida, a mi hermana Evelyn, por estar siempre a mi lado, a mi esposo Juan y mi hijo Sebastián por su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la vida, a mis padres, quienes se han esforzado mucho por darme lo mejor, a la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a sus profesores y personal. Al Ing. Henry Vaca por su acertada dirección y colaboración.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

Página de título.....	I
Aprobación del Tutor.....	II
Página de dedicatoria.....	III
Página de agradecimiento.....	IV
Índice de contenidos.....	V
Índice de figuras.....	X
Índice de tablas.....	XII
Resumen Ejecutivo.....	XIII

CAPÍTULO I

1.1 Tema de investigación.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico.....	2
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del problema.....	3
1.2.5 Preguntas directrices.....	3
1.2.6 Delimitación del problema.....	3
1.2.6.1 Delimitación de contenido.....	4
1.2.6.2 Delimitación espacial.....	4
1.2.6.3 Delimitación temporal.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5

CAPÍTULO II

2.1 Antecedentes investigativos.....	6
2.2 Fundamentación filosófica.....	7

2.3 Fundamentación legal.....	8
2.4 Fundamentación teórica.....	8
2.4.1.- Hierro fundido.....	8
2.4.1.1 Micro constituyentes de las fundiciones.....	10
2.4.2. Hierros fundidos blancos.....	10
2.4.3. Hierros fundidos grises.....	12
2.4.3.1 Dureza.....	19
2.4.4. Hierros fundidos nodulares.....	19
2.4.5. Hierro fundido maleable.....	22
2.4.6. Hierro fundido endurecido localmente (chilled iron).....	25
2.4.7. Fundiciones aleadas.....	27
2.4.7.1. Efectos de los elementos de aleación en las fundiciones.....	27
2.4.7.2. Clasificación de las fundiciones aleadas.....	30
2.4.7.2.1. Fundiciones de baja y media aleación.....	30
2.4.7.2.2. Fundiciones de alta resistencia a la tensión.	31
2.4.7.3. Fundiciones martensíticas resistentes al desgaste.	31
2.4.7.4. Fundiciones resistentes al calor con 1% de cromo.	32
2.4.7.5. Fundiciones de alta dureza con 1 a 3% de cromo.	33
2.4.7.6. Fundiciones aleadas al alto cromo.	33
2.4.7.7. Fundiciones aleadas con aluminio.	34
2.4.8. Tratamientos térmicos del hierro fundido.....	35
2.4.8.1 Recocido.....	36
2.4.8.1.1 Selección del tratamiento del recocido.....	37
2.4.9 Ensayos y propiedades mecánicas de los materiales.....	37
2.4.9.1 Ensayo de tensión y diagrama de tensión deformación.....	42
2.4.9.2 Ensayos de dureza.....	48
2.5 Categorías fundamentales.....	49
2.6 Hipótesis.....	49
2.7 Señalamiento de variables.....	49
2.7.1 Variable Independiente.....	49
2.7.2 Variable Dependiente.....	49
2.7.3 Término de Relación.....	49

CAPÍTULO III

3.1 Enfoque.....	50
3.2 Modalidad y tipo de investigación.....	51
3.2.1 Modalidad de investigación.....	51
3.2.1.1 Bibliográfica.....	51
3.2.1.2 Experimental.....	51
3.2.2 Tipo de investigación.....	51
3.2.2.1 Descriptiva.....	51
3.2.2.2 Exploratoria.....	52
3.2.2.3 Asociación de variables.....	52
3.2.2.4 Explicativa.....	52
3.3 Población y muestra.....	52
3.3.1 Población.....	52
3.3.2 Muestra.....	52
3.4 Operacionalización de variables.....	53
3.4.1 Variable Independiente.....	53
3.4.2 Variable Dependiente.....	54
3.5 Recolección de la información.....	54
3.5.1 Observación.....	54
3.6 Procesamiento y análisis.....	55
3.6.1 Plan de procesamiento de la información recogida.....	55
3.6.2 Plan de análisis e interpretación de resultados.....	55

CAPÍTULO IV

4.1 Proceso de análisis de resultados.....	56
4.2 Presentación de resultados.....	58
4.2.1 Evaluación del hierro fundido gris como viene de fábrica.....	59
4.2.2 Evaluación de las probetas de hierro fundido gris utilizando diferentes tiempos de permanencia en el recocido.....	71
4.2.3 Evaluación del ensayo de tracción de las probetas de hierro fundido gris utilizando diferentes tiempos de permanencia en el recocido.....	107
4.3 Interpretación de resultados.....	143
4.4 Verificación de la hipótesis.....	145

CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones.....	147
5.2 Recomendaciones.....	148

CAPÍTULO VI

6.1 Datos informativos.....	150
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	150
6.3 Justificación.....	151
6.4 Objetivos.....	151
6.4.1 General.....	151
6.4.2 Específicos.....	151
6.5 Análisis de factibilidad.....	152
6.5.1 Análisis económico.....	152
6.5.1.1 Costos directos.....	152
6.5.1.2 Costos indirectos.....	153
6.5.2 Análisis tecnológico.....	153
6.6 Fundamentación.....	154
6.7 Metodología.....	154
6.7.1 Adquisición del material.....	154
6.7.2 Maquinado de las probetas.....	155
6.7.2.1 Corte de las probetas.....	155
6.7.3 Realización del tratamiento térmico (recocido).....	158
6.7.4 Desarrollo del ensayo de tracción.....	160
6.7.4.1 Cálculo de área inicial de la probeta.....	165
6.7.4.2 Cálculo de área final de la probeta.....	166
6.7.4.3 Cálculo de la resistencia última a la tracción.....	166
6.7.4.4 Cálculo del porcentaje de alargamiento (%)......	166
6.7.4.5 Cálculo del porcentaje de reducción del área (%)......	167
6.7.5 Preparación de la probeta.....	167
6.7.6 Preparación metalográfica de la superficie para el análisis.....	168
6.7.6.1 Desbaste grueso.....	168
6.7.6.2 Desbaste fino.....	168

6.7.6.3 Pulido grueso.....	169
6.7.6.3 Pulido fino.....	169
6.7.7 Ataque químico de la superficie.....	170
6.7.8 Evaluación y resultado.....	171
6.7.9 Ejecución del ensayo de dureza.....	175
6.8 Administración.....	177
6.9 Previsión de la evaluación.....	178
6.10 Bibliografía.....	179
6.10.1 Libros.....	179
6.10.2 Páginas web.....	179
Anexos.....	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Microestructura de la fundición blanca.....	11
Figura 2. Hojuelas de grafito en el hierro fundido gris.....	12
Figura 3.- Diagrama de Fases del Sistema Binario de Aleaciones Hierro- Carbono.....	13
Figura 4. a) Influencia del contenido de C y Si b) efecto del espesor de la pieza moldeada.....	15
Figura 5. Tipos de hojuelas en los hierros grises, según clasificación de ASTM.....	16
Figura 6. Microestructura de la fundición nodular ferrítico-perlítica.....	20
Figura 7. Matriz martensítica en un hierro nodular.....	21
Figura 8. Microestructura de la fundición maleable ferrítica.....	23
Figura 9. Cambios de microestructura como función del ciclo de maleabilización.....	23
Figura 10. Endurecimiento local del hierro fundido (chilled iron).....	26
Figura 11. Estructura típica en las fundiciones endurecidas localmente.....	26
Figura 12. Tipos de fuerzas o cargas aplicadas a los materiales.....	38
Figura 13. a) Barra antes de aplicarle la fuerza b) Barra sometida a una fuerza de tensión uniaxial F que alarga la barra de longitud l_0 a l	39
Figura 14. Muestra típica de sección circular para el ensayo de tensión – deformación.....	43
Figura 15 Ensayo tensión – deformación.....	43
Figura 16 Gráfica típica tensión vs deformación.....	44
Figura 17 Obtención del límite elástico al 0.2%.....	46
Figura 18 Ensayos de dureza.....	48
Figura 19 Comparación de dureza de los diferentes tiempos de recocido con respecto al hierro fundido gris natural.....	143
Figura 20 Resistencia Última a la Tracción de las probetas de Hierro Fundido Gris en los diferentes tiempos de Recocido.....	144
Figura 21 Elongación de las probetas de Hierro Fundido Gris en los diferentes	

tiempos de Recocido	145
Figura 22. Ejes de Hierro Fundido Gris (Fábrica).....	155
Figura 23. Espécimen 01 Hierro Fundido Gris (Probeta para ensayo de tracción).....	156
Figura 24. Espécimen 01 Hierro Fundido Gris (Probeta para ensayo de tracción dimensiones).....	156
Figura 25. Probeta de Hierro Fundido Gris de 5pulgadas.....	157
Figura 26. Probetas de Hierro Fundido Gris para ser Recocidas.....	158
Figura 27. Horno para realizar el Recocido	159
Figura 28. Probeta de Hierro Fundido Gris Recocida a 754°C durante 4h.....	159
Figura 29 Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 ton. (Acoplamiento de la probeta).....	161
Figura 30. Probeta de Hierro Fundido Gris luego de haber realizado el ensayo de tracción.....	161
Figura 31. Probeta de Hierro Fundido Gris calibrada después de haber realizado el ensayo de tracción	162
Figura 32. Probeta de Hierro Fundido Gris Recocida a 754°C durante 4h (¾ de diámetro y de 1cm de longitud).....	167
Figura 33. Corte de la probeta de Hierro Fundido Gris después del ensayo de tracción (encuellamiento corte transversal).....	168
Figura 34. Desbaste fino realizado en un banco de cuatro tipos de lijas (240-320-400-600 granos por pulgada cuadrada).....	169
Figura 35. Pulidora de paño.....	169
Figura 36. Pulido Fino.....	170
Figura 37. Reactivo Nital 2.....	170
Figura 38. Ataque Químico (Reactivo Nital 2).....	171
Figura 39. Sistema de circuito cerrado de televisión.....	171
Figura 40. Durómetro.....	175
Figura 41. Determinación de la Dureza Brinell.....	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tamaños de hojuelas AFS*-ASTM**	17
Tabla 2. Designación y propiedades de los hierros fundidos grises.....	19
Tabla 3. Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con la norma ASTM A-536.....	22
Tabla 4. Propiedades mecánicas de los hierros maleables ferríticos.....	25
Tabla 5. Propiedades mecánicas del hierro fundido maleable perlítico.....	25
Tabla 6. Influencia que los diversos elementos aleados ejercen sobre la formación del grafito y de los carburos y sobre las características de la matriz.....	28
Tabla 7 Influencia que tienen los diversos elementos de aleación sobre los puntos críticos.....	28
Tabla 8. Composiciones de algunas fundiciones al cromo y al silicio de uso frecuente.....	34
Tabla 9. Comparación de resultados en el hierro fundido gris recocido en diferentes tiempos.....	145
Tabla 10 Costos para realizar el Recocido en el Hierro Fundido Gris.....	153
Tabla 11 Dimensiones del Espécimen 01 Hierro fundido Gris (Probeta para el ensayo de tracción).....	157
Tabla 12. Administración de Tesis.....	177

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo detalla el estudio del Recocido en el Hierro Fundido Gris y su incidencia en la dureza, en las fundidoras de nuestra ciudad no se realiza ningún tratamiento térmico en las piezas fundidas, razón por la cual se ha propuesto realizar el siguiente trabajo, el cuál es de gran utilidad al momento de optar por un tratamiento térmico para el Hierro Fundido Gris.

Para la ejecución del trabajo, se ha realizado una investigación totalmente experimental basada en bibliografía, pruebas y ensayos, los cuales fueron realizados en la Universidad Técnica de Ambato, en los Laboratorios de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Con la investigación se ha establecido que el Recocido en el Hierro Fundido Gris se debe realizar a una temperatura de 754°C , durante 4 horas y el enfriamiento debe ser en el horno, lográndose con esto que se disminuya la dureza pero que el material mejore la ductilidad y tenacidad, lo cual es bueno para el Hierro Fundido Gris porque ya no va a ser tan frágil, y se le puede dar mejores aplicaciones para las industrias.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ESTUDIO DEL RECOCIDO EN EL HIERRO FUNDIDO GRIS Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Al pasar del tiempo en el mundo entero se ha venido desarrollando varios métodos para que los materiales tengan mejores propiedades, una manera de conseguir este objetivo es la aplicación de los tratamientos térmicos.

A nivel de nuestro país existe muy poco o casi nada de estudios respecto al tema de investigación propuesto pues la mayoría de sectores dedicados a la fundición lo hacen de manera artesanal y por lo tanto no tiene fundamentación científica pues sus conocimientos son empíricos, en la provincia existe una empresa dedicada al

realizar fundiciones, pero no realizan el respectivo tratamiento térmico después de la fundición para mejorar las propiedades del material, lo cual ocasiona que en determinado tiempo exista defectos de varios tipos en el mismo, y además generando material no competitivo. Se cree útil realizar este estudio para usarlo en diferentes ramas de la industria en el país y en la provincia de Tungurahua para aportar con la investigación en el área de materiales.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

La industria de la producción de hierro fundido es una de las principales a nivel internacional. Anualmente son producidas piezas que son ensambladas y empleadas como componentes de equipos y maquinarias. La producción de hierro fundido es el triple al resto de las producciones de metales ferrosos y no ferrosos juntos, superado solo por la producción de acero laminado.

Los hierros fundidos, son básicamente aleaciones de hierro, carbono y silicio, los hierros fundidos contienen más carbono que el acero; es decir entre 2.14 y 6.7 % de carbono. Como el alto contenido de este elemento tiende a hacer muy frágil al hierro fundido, la mayoría de los tipos manufacturados están en el intervalo de 2.5 a 5 % de carbono, además, contienen silicio del 2 al 4%, manganeso hasta 1%, bajo azufre y bajo fósforo.

La ductilidad del hierro fundido es muy baja y no puede laminarse, estirarse o trabajarse en frío o en caliente. Pero, se pueden vaciar de un horno de cubilote, para obtener piezas de muy diferente tamaño y complejidad siendo poco soldables pero sí maquinables, siendo relativamente duras y resistentes a la corrosión y al desgaste.

Aunque los hierros fundidos son frágiles y tienen menores propiedades de resistencia que la mayoría de los aceros, son baratos y pueden fundirse más fácilmente.

Además, mediante una aleación adecuada, buen control de la fundición y un tratamiento térmico adecuado, las propiedades de un hierro fundido pueden modificarse ampliamente.

1.2.3 PROGNOSIS

Al no realizar el presente estudio no se podrá determinar la incidencia en la dureza que tiene el recocido aplicado al hierro fundido gris motivo por el cual no se logrará aportar con el desarrollo en la investigación en el área de materiales.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué incidencia en la dureza del hierro fundido gris se tendrá al realizar el estudio del recocido?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Qué parámetros se deben tomar en cuenta en el recocido de hierro fundido gris?

¿Qué temperatura será la ideal para obtener un buen recocido en el hierro fundido gris?

¿Qué tiempo será el ideal para obtener un buen recocido en el hierro fundido gris?

¿Qué dureza se logrará al realizar el recocido?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO

La presente investigación se llevará a cabo en los parámetros científicos de la investigación dentro del campo de la Ingeniería Mecánica con el apoyo en distintas materias como en: Procesos de Manufactura, Ingeniería de Materiales, además considerando fuentes de consulta de libros de la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, y para investigación general el internet.

1.2.6.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El proyecto de investigación se realizará dentro de la Universidad Técnica de Ambato, en el laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.2.6.3 DELIMITACION TEMPORAL

Esta investigación se desarrollará durante el periodo Abril – Julio del 2011 tiempo en el cual se determinará todos los parámetros que sean necesarios para una correcta información sobre el problema planteado.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El material seleccionado para realizar el presente estudio es el Hierro fundido gris, pues éste tiene un contenido de carbono considerable, con lo cual se puede establecer su comportamiento cuando se realiza un tratamiento térmico como es el recocido y poder ver cuál es la incidencia que provoca en la dureza del material. Las probetas para los ensayos de hierro fundido gris se pueden conseguir en una empresa de la ciudad, es decir que existe facilidad de adquisición del material de estudio, y además no es costoso.

Es un estudio factible de realizarlo ya que se cuenta con bibliografía, equipos necesarios en el laboratorio, personal competente de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Realizar el estudio del recocido en el hierro fundido gris para determinar la dureza obtenible.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar los parámetros que permitan la evaluación e interpretación de la dureza de las probetas en las que se realice en recocido como tratamiento térmico.
- Determinar la temperatura ideal para el recocido.
- Establecer el tiempo de duración del recocido.
- Determinar la dureza en las probetas ya ensayadas.
- Obtener una dureza homogénea en las probetas ya ensayada

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La evolución del hierro ha transcurrido paralela a los grandes cambios que ha sufrido la humanidad.

Al principio, el hierro se utilizó como elemento de diferenciación social, pero con el paso del tiempo fue convirtiéndose en un material de gran importancia estratégica.

La utilización del hierro como material bélico, poderoso e imprescindible, hizo posible el incremento cualitativo y cuantitativo de la producción de este metal, la adopción del hierro como material de construcción supuso una revolución.

El mundo actual no se podría concebir sin la presencia del hierro. La industria naval, la ferroviaria, la automovilística o la aeronáutica son los últimos resultados de una evolución iniciada muchos siglos atrás.

La evolución de la metalurgia está relacionada con factores de carácter tecnológico. El trabajo del hierro se descubrió e impuso de un modo paulatino. Al principio, se utilizaban una serie de procedimientos sencillos que, con el paso del tiempo, acabaron siendo cada vez más complicados.

Concretamente la primera utilización estructural de este metal se dirigió a la construcción de un puente sobre el río Severn en CoalBrookdale en Gran Bretaña en el año 1779, que sigue en uso en la actualidad. Se realizó con hierro fundido gracias al excelente comportamiento de éste en su resistencia a la compresión, no así a la tracción y flexión.

Las propiedades y el comportamiento de las fundiciones durante su manufactura y el desempeño durante su vida de servicio, dependen de su composición, estructura, historia de procesamiento y del tratamiento térmico al cual han sido sujetos. Propiedades básicas importantes como la resistencia, la dureza, la ductilidad y la tenacidad, son influenciadas de manera importante y modificadas por elementos de aleación y por procesos de tratamientos térmicos.

El ejemplo más común de mejora de propiedades es el tratamiento térmico; modifica microestructuras y por lo tanto, produce una variedad de propiedades mecánicas que son importantes en la manufactura como una mejor formabilidad y de maquinabilidad. Estas propiedades también acrecientan el desempeño en servicio cuando se usan en componentes de máquina.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El avance científico cada vez va creciendo, la ingeniería de materiales se ha desarrollado de una manera sorprendente por lo que el Ingeniero Mecánico debe investigar especialmente acerca de los tratamientos térmicos ya que son de gran

importancia para que un material tenga las propiedades necesarias y sea de buena calidad.

Habitualmente los inconvenientes en piezas requieren un estudio acerca de los tratamientos térmicos para establecer las propiedades que los mismos adquieren a partir de realizarlos. Con este tipo de estudio se hará un aporte a la investigación en el área de materiales, lo que ayudará al sector industrial a evitar daños, fallas y pérdidas económicas en piezas conseguidas por fundición.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Para realizar el estudio del recocido en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza superficial, se debe tomar en cuenta normas las cuales serán especialmente internacionales pues dentro del país es poca la información que existe.

Las normas que se utilizarán son: ASTM A-536; A-48; A-247; E- 8.

2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.4.1.- HIERRO FUNDIDO^[1]

El término de hierro fundido es aplicado a una familia de aleaciones ferrosas que contienen más del 2% de carbono. Incluye al hierro gris, maleable, dúctil (conocido como nodular por algunos autores), blanco, con elevado nivel de aleación y con grafito compacto.

¹ Smith, William. Fundamentos de la ciencia e Ingeniería de Materiales

El mejor método para clasificar el hierro fundido es de acuerdo con su estructura metalográfica, así, las variables a considerar y que dan lugar a los diferentes tipos de hierros fundido son:

- El contenido de carbono
- El contenido de elementos aleantes e impurezas
- La rapidez de enfriamiento, durante y después de la solidificación y
- El tratamiento térmico posterior

- a) Hierro fundido blanco. El carbono se encuentra en gran porcentaje, formando una red de Fe_3C
 - b) Hierro fundido gris. El carbono se encuentra libre en la matriz, en forma de hojuelas de grafito
 - c) Hierro dúctil o nodular. El carbono se encuentra libre en forma de nódulos o esferas
 - d) Hierro maleable. El grafito se encuentra en forma de terrones o nódulos informes (carbono recocido)
 - e) Hierros fundidos aleados.
- } + Matriz de acero (ferrita, perlita, martensita, etc.)

Estas variables controlan la fundición, o sea la condición del carbono y también su forma física. El carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro (Fe_3C) o existir como carbono libre en forma de grafito. La forma y distribución de las partículas de carbono sin combinar influye en forma determinante sobre las propiedades mecánicas del hierro fundido. Estas aleaciones se clasifican por lo tanto, según el estado en que se encuentra el carbono en la microestructura, así como por la microestructura de la matriz, siendo los principales tipos los siguientes:

2.4.1.1 MICROCONSTITUYENTES DE LAS FUNDICIONES ^[2]

Las fundiciones de hierro pueden presentar los mismos constituyentes de los aceros, más el eutéctico ledeburita, compuesto de austenita y cementita, el eutéctico ternario de cementita, ferrita y fósforo de hierro (esteadita) y el carbono en forma de láminas, nódulos o esferitas de grafito, su microestructura se basa en el diagrama hierro carbono estable.

Ledeburita. Una reacción eutéctica ocurriendo a 1148 °C y una composición de 4.3 %C. A esta temperatura y composición la fase líquida está en equilibrio con la fase sólida cementita, con 6.7 %C y austenita saturada conteniendo 2.11 %C. El producto de esta reacción se conoce como “ledeburita”.



La ledeburita no existe a temperatura ambiente en las fundiciones ordinarias debido a que en el enfriamiento se transforma en cementita y perlita; sin embargo en las fundiciones se pueden conocer las zonas donde existió la ledeburita por el aspecto eutéctico con que quedan las agrupaciones de perlita y cementita.

Esteadita. Es un constituyente de naturaleza eutéctica duro, frágil (300 a 350 Vickers) y de bajo punto de fusión (960 °C), que aparece en las fundiciones de alto contenido en fósforo (más de 0.15 % P).

2.4.2. HIERROS FUNDIDOS BLANCOS ^[3]

Se les da este nombre por la apariencia que tiene el material fracturarse. Se forma al enfriar rápidamente la fundición de hierro desde el estado líquido, siguiendo el

² Askeland. Donal. Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

³ Sydney H. Avner. Introducción a la Metalurgia Física

diagrama hierro-cementita metaestable; durante el enfriamiento, la austenita solidifica a partir de la aleación fundida en forma de dendritas. A los 1148 °C el líquido alcanza la composición eutéctica (4.3%C) y se solidifica como un eutéctico de austenita y cementita llamado ledeburita. Este eutéctico aparece en su mayor parte como cementita blanca que rodea las dendritas de forma de helecho, como se observa en la figura 1.

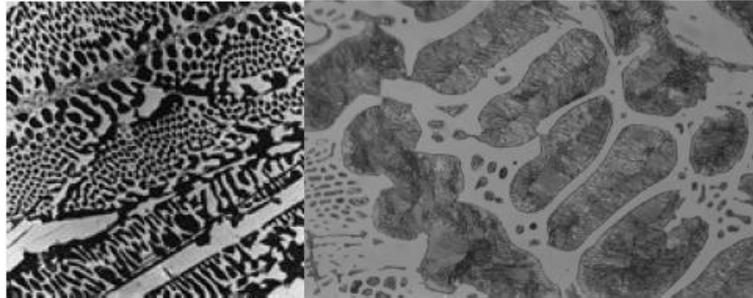


Figura 1. Microestructura de la fundición blanca

Fuente: Sydney H. Avner. Introducción a la Metalurgia Física

La fundición blanca se produce en el horno de cubilote, su composición y rapidez de solidificación separa coladas que se transformarán con tratamiento térmico en hierro maleable. La fundición blanca también se utiliza en aplicaciones donde se necesita buena resistencia al desgaste tal como en las trituradoras y en los molinos de rodillos.

Al enfriarse las fundiciones desde 1130 °C hasta 727 °C el contenido de carbono de la austenita varía de 2 a 0.8%C al precipitarse cementita secundaria que se forma sobre las partículas de cementita ya presentes, a los 727 °C la austenita se transforma en perlita, el eutectoide de los aceros.

La fundición blanca se utiliza en elementos de molienda por su gran resistencia al desgaste, el enfriamiento rápido evita la grafitización de la cementita pero si se calienta de nuevo la pieza colada a una temperatura de 870 °C el grafito se forma lentamente adoptando una forma característica conocida como carbono de

revenido, resultando la fundición maleable, debiéndose mencionar que un gran tonelaje de hierro fundido blanco se emplea como materia prima para la manufactura de hierro fundido maleable.

La matriz de la fundición puede ser ferrítica o perlítica si la aleación se enfría más rápidamente a partir de los 727 °C al final del tratamiento de maleabilización. Las fundiciones maleables se utilizan en la fabricación de partes de maquinaria agrícola, industrial y de transporte.

2.4.3. HIERROS FUNDIDOS GRISES ^[4]

Para explicar el hierro fundido gris es necesario entender que el carburo de hierro es básicamente una fase metaestable y que con un enfriamiento anormalmente lento (o en presencia de ciertos aleantes como el silicio) se cristalizará el grafito (carbono puro) y el hierro (figura 2). Además, si se calienta el carburo de hierro por un periodo prolongado se descompondrá de acuerdo a la reacción siguiente:

Carburo de hierro → Hierro + C (grafito)



Figura 2. Hojuelas de grafito en el hierro fundido gris.

Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González. Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico

Por lo tanto, el diagrama de equilibrio verdadero es el sistema hierro-grafito que se muestra con línea discontinua en la figura 3. No es necesario un nuevo diagrama, porque para todos los propósitos prácticos solamente hay que sustituir

⁴ Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González. Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico

el grafito por el carburo de hierro en las regiones de dos fases, como se indica en la figura 1 y mover la línea vertical de la derecha hasta el 100 %.

Los principales elementos de aleación son carbono y silicio. El alto contenido de carbono incrementa la cantidad de grafito o de Fe_3C e incrementando el contenido de carbono y silicio incrementa el potencial de grafitización y fluidez del hierro fundido, sin embargo su resistencia se ve afectada, ya que se promueve la formación de ferrita y el engrosamiento de la perlita.

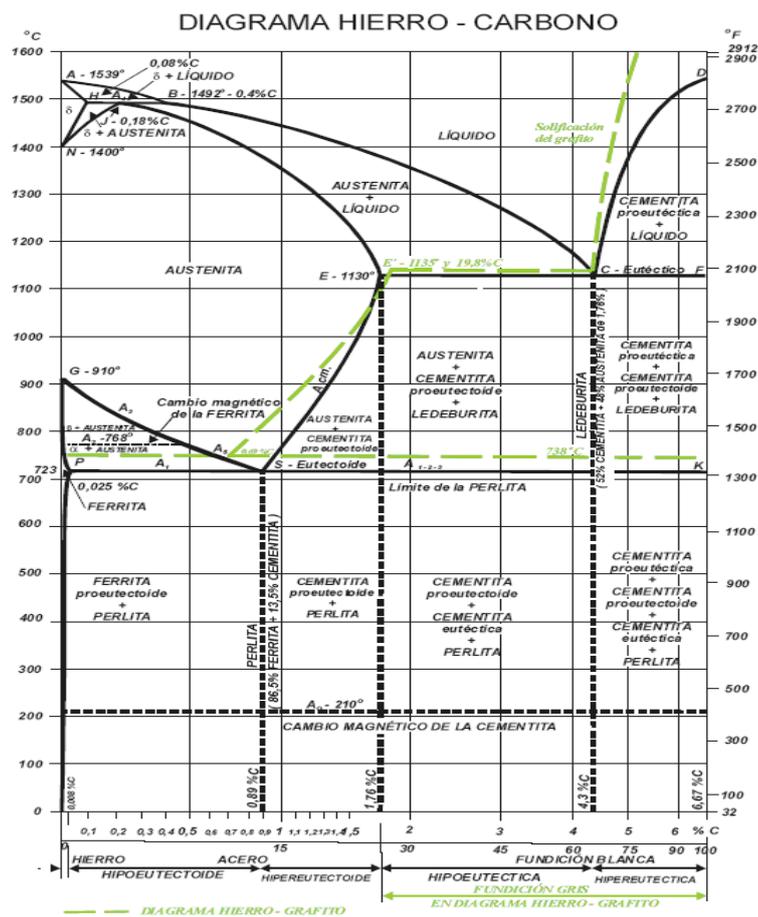


Figura 3.- Diagrama de Fases del Sistema Binario de Aleaciones Hierro-Carbono

Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González. Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico

La influencia combinada del carbono y el silicio normalmente se evalúa mediante la expresión siguiente:

$$CE = \%C + 0.3 (\%Si) + 0.33 (\%P) - 0.027 (\%Mn) + 0.4 (\%S)$$

El contenido de manganeso varía en función de la matriz deseada, típicamente, puede ser tan baja como 0.1% para hierros ferríticos y tan alta como 1.2% para hierros perlíticos, ya que el manganeso es un fuerte promotor de la perlita.

El efecto del azufre puede ser balanceado con el manganeso, sin manganeso en el hierro el indeseable compuesto sulfuro de hierro (FeS) se formará en el límite de grano. Si el azufre se balancea con manganeso, se formara sulfuro de manganeso (MnS), el cual es menos dañino ya que se distribuye dentro del grano. La relación óptima entre el manganeso y azufre para una estructura libre de sulfuro de azufre y máxima cantidad de ferrita es:

$$\%Mn = 1.7x(\%S) + 0.15$$

En la práctica es más difícil regular la cantidad de carbono que la de silicio, por eso, se elige un contenido tal de carbono que garantice relativamente buenas propiedades de colada, esto es, fluidez y poca contracción. La relación entre el contenido de carbono y silicio y la estructura de la fundición se presenta en forma gráfica en el diagrama estructural de la figura 4a). El campo del diagrama está dividido en cinco zonas estructurales, según sea el contenido de silicio (por la línea horizontal) y carbono (por la línea vertical). El diagrama está construido para lingotes con un espesor de pared constante, que corresponde al bloque de prueba de 30 mm de diámetro; en él no se toma en consideración el efecto de la velocidad de enfriamiento sobre la estructura de la fundición. El enfriamiento retardado eleva el grado de formación de grafito.

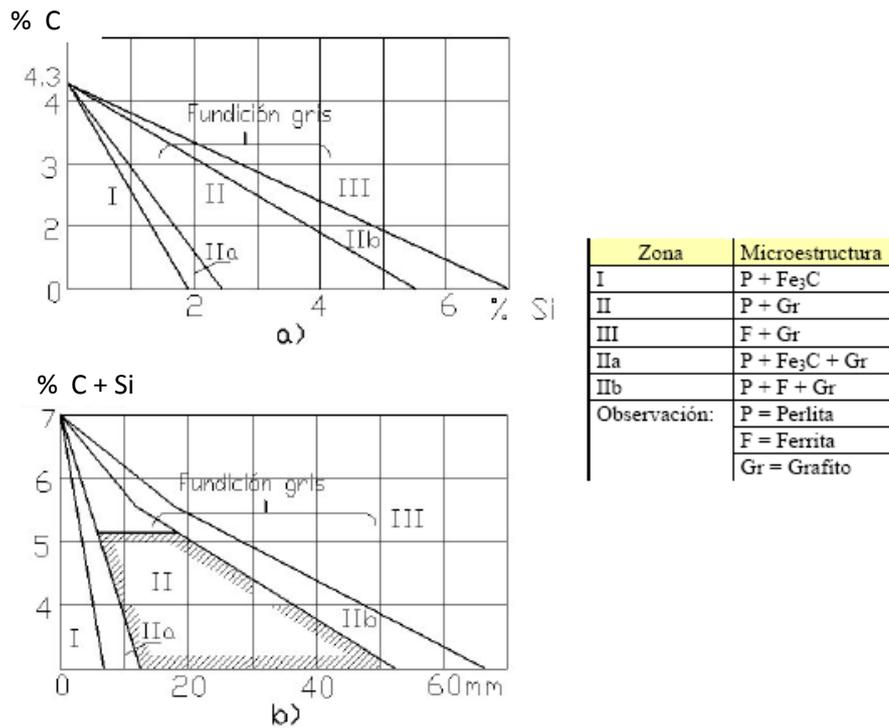


Figura 4. a) Influencia del contenido de C y Si b) efecto del espesor de la pieza moldeada

Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González. Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico

El diagrama estructural de la figura 4b) muestra la relación entre la estructura de la fundición y el contenido total de carbono y silicio (C+ Si) y el espesor de las paredes del lingote, es decir de la velocidad de enfriamiento. En este diagrama el eje de las abscisas indica los espesores de las paredes de los lingotes y el de las ordenadas, la suma de carbono y silicio, pudiéndose observar que el campo de este diagrama está dividido también en cinco zonas estructurales de igual manera que en el anterior.

La zona de las fundiciones perlíticas de alta calidad en el diagrama de la figura 4b) está limitada por la horizontal del 5.3 % de la suma de C + Si , en el diagrama ésta zona esta sombreada . Se ha establecido que al disminuir el contenido de

estos elementos por debajo del límite establecido, la resistencia de la fundición aumenta notablemente a costa de la reducción del grafito. Ambos diagramas muestra la influencia del contenido en C y Si y la velocidad de enfriamiento sobre la estructura de las fundiciones de hierro.

Una característica distintiva del hierro gris es que el carbono se encuentra en general en forma de grafito adoptando formas irregulares descritas como “hojuelas”, este grafito es el que da la típica coloración gris a las superficies de fractura en las piezas elaboradas con esta aleación. Las propiedades físicas y en particular las mecánicas varían dentro de amplios intervalos respondiendo a factores como la composición química, rapidez de enfriamiento después del vaciado, tamaño y espesor de las piezas, práctica de vaciado, tratamiento térmico y parámetros microestructurales como la naturaleza de la matriz y la forma y tamaño de las hojuelas de grafito. Las hojuelas adoptan diferentes patrones irregulares o tipos. El tipos y tamaño de hojuela se determina de manera tradicional por simple comparación contra el patrón ASTM (American Society for Testing and Materials), norma A247. Esto se realiza mediante observaciones de microscopía óptica a 100X sobre probetas pulidas a espejo, sin ataque químico. En general, se habla de 5 tipos de hojuelas, denominados A, B, C, D y E como se aprecia en la figura 5.

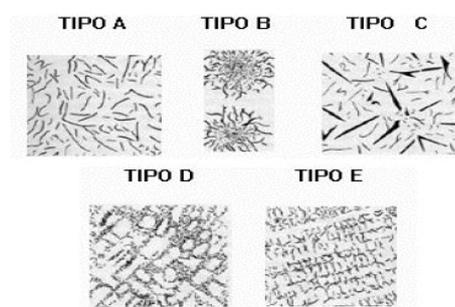


Figura 5. Tipos de hojuelas en los hierros grises, según clasificación de ASTM

Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González. Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico

Las normas hacen referencia a ocho tamaños de hojuelas, asignándoles números del 1 al 8 como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tamaños de hojuelas AFS*-ASTM**

Tamaño	Long. de las hojuelas más largas en pulg. A 100X.
1	4 o más
2	2-4
3	1-2
4	$\frac{1}{2}$ - 1
5	$\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$
6	$\frac{1}{8}$ - $\frac{1}{4}$
7	$\frac{1}{16}$ - $\frac{1}{8}$
8	$\frac{1}{16}$ o menos

* American Foundrymen Society

** American Society for Testing of Materials

Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González. Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico

En general para la mayoría de las aplicaciones se prefieren las hojuelas del tipo A de tamaño “pequeño”, los tamaños grandes reducen la resistencia y ductilidad del hierro como resultado de interrumpir seriamente la continuidad del material.

Las propiedades mecánicas en general de las fundiciones grises son variables y están en función directa de la microestructura; por lo general poseen una resistencia a la compresión de dos a tres veces mayor que su resistencia a la tensión, siendo su ductilidad bastante pequeña. Muchos de los grados de hierro gris tienen mayor resistencia al corte torsional que algunos tipos de acero. Estas características junto con una baja sensibilidad a la presencia de muescas (concentradores de esfuerzo) hacen del hierro gris un material adecuado para diversos tipos de flechas y ejes.

La capacidad de amortiguación del hierro gris es una propiedad que no se mide muy a menudo, pero que vale la pena considerar, ya que estas aleaciones tienen la habilidad de absorber la energía y por lo tanto de detener la vibración. Por ejemplo una barra de acero produce un sonido metálico, una barra de hierro fundido no lo produce. Esta característica explica las muchas armazones de máquinas que se hacen de hierro fundido gris.

El hierro gris es fácil de maquinar, debido a la presencia de carbono libre (grafito), pero no es fácil de soldar. La soldadura puede hacerse pero requiere de una técnica especial y generalmente queda confinada a reparaciones.

El hierro fundido gris por lo general no se trata térmicamente como el acero, pero muchas de sus propiedades pueden variar con tratamientos térmicos. El recocido puede liberar los esfuerzos, ablandar el hierro y hacerlo fácil de maquinar.

El hierro gris se utiliza ampliamente para guarniciones y marcos alrededor de maquinaria peligrosa. Muchos tipos cajas para engranes, recintos para equipo eléctrico, carcasas para bombas y turbinas, engranes, monobloques para motor y muchas otras piezas automotrices.

El sistema de identificación de ASTM para los hierros fundidos grises establece que el número que lo identifica corresponda a la resistencia a la tensión mínima en miles de libras/pulg², de tal manera que hierro gris ASTM No. 20 tiene una resistencia mínima a la tensión de 20000 lb/pulg².

Tabla 2. Designación y propiedades de los hierros fundidos grises.

CLASE ASTM	RESISTENCIA MÁXIMA (ksi)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (ksi)	RESISTENCIA AL CORTE (ksi)	MODULO DE ELASTICIDAD		LIMITE A LA FATIGA (ksi)	DUREZA BHN
				TENSION (Msi)	TORSION (Msi)		
20	22	83	26	9.6-14	3.9-5.6	10	156
25	26	97	32	11.5-14.8	4.6-6.0	11.5	174
30	31	109	40	13.0-16.4	5.6-6.6	14	201
35	36.5	124	48.5	14.5-17.2	5.8-6.9	16	212
40	42.5	140	57	16-20	6.4-7.8	18.5	235
50	52.5	164	73	18.8-22.8	7.2-8.0	21.5	262
60	62.5	187.5	88.5	20.4-23.5	7.8-8.5	24.5	302

Nota. Multiplique la resistencia en ksi por 6.89 para obtener MPa.

Fuente: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González. Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico

2.4.3.1 DUREZA^[4]

La dureza de la fundición es relativamente elevada. La fundición gris tiene una dureza de 140 a 250 Brinell, se puede mecanizar fácilmente, porque la viruta se desprende mejor y por la presencia de grafito liberado, que lubrica el paso de la viruta sobre el corte de la herramienta, la viruta es siempre escamosa, excepto en las fundiciones maleables y en las de grafito nodular.

Las fundiciones blancas tienen una dureza superior a 350 a 400 Brinell. Hasta cerca de 550 Brinell se pueden mecanizar con herramientas de carburo; más allá, requieren la muela de esmeril.

2.4.4. HIERROS FUNDIDOS NODULARES^[5]

También se conoce como hierro dúctil, hierro de grafito esferoidal, hierro esferulítico; en este tipo de hierro fundido el grafito se encuentra presente como

⁵ Carl A. Keyser., Ciencia de materiales para Ingeniería

pequeñas bolas o esferoides las cuales interrumpen con menor brusquedad la continuidad que las hojuelas de grafito en de un hierro gris, dando como resultado una mayor resistencia y tenacidad, comparada con una estructura semejante a la del hierro gris. El hierro fundido nodular difiere del maleable en que generalmente se obtiene como resultado de la solidificación y no requiere de tratamiento térmico. Los esferoides son más redondas que los agregados irregulares de carbono revenido encontrados en el hierro maleable.

El grafito esferoidal es producido por la adición de uno más elementos al metal fundido: magnesio, cerio, calcio, litio, sodio, bario y otros elementos producen también grafito esferoidal. De éstos, el magnesio y el cerio son comercialmente importantes y como el contenido total de carbono en el hierro nodular es el mismo que en hierro gris, las matrices ferríticas y perlíticas (figura 6) se obtienen de manera similar a la de los hierros fundidos grises.

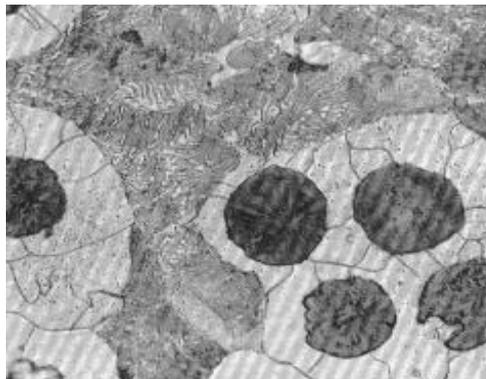


Figura 6. Microestructura de la fundición nodular ferrítico-perlítica

Fuente: Sydney H. Avner. Introducción a la Metalurgia Física

Los hierros perlíticos nodulares son más fuertes pero menos dúctiles que los ferríticos. También se puede obtener una matriz martensítica templando en aceite o en agua desde una temperatura de 870 a 930 °C, figura 7. Las estructuras templadas generalmente se revienen después del endurecimiento a los niveles de resistencia y dureza deseados.

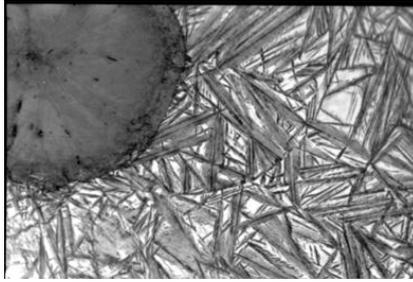


Figura 7. Matriz martensítica en un hierro nodular.

Fuente: Sydney H. Avner. Introducción a la Metalurgia Física

Poseen mayor resistencia a la tensión que los hierros grises, resistencia al desgaste y dureza similares, poseen alta resistencia al impacto térmico y mayor maquinabilidad.

Algunas aplicaciones típicas del hierro nodular son:

- Cigüeñales, pistones, y cabeza de cilindros para automóviles y motores diesel
- En acerías, rodillos de trabajo, puertas para horno, rodetes de mesa y cojinetes.
- Llaves para tuercas, palancas, manivelas, marcos de sujeción y chucks.
- Troqueles diversos para dar forma al acero, aluminio, bronce, latón y titanio.

Cada día se están sustituyendo muchos elementos de máquinas que tradicionalmente eran de fundición gris o acero por fundición nodular.

Finalmente, en la tabla 3 se presentan las propiedades mecánicas de este tipo de hierro según ASTM.

Tabla 3. Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con la norma ASTM A-536.

Clase	Resistencia psix1000	Lím. 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: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González. Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico

2.4.5. HIERRO FUNDIDO MALEABLE ^[6]

La materia prima para poder producir éste tipo de hierro fundido, es el hierro fundido blanco, en donde el carbono se encuentra en forma de carburo (Fe_3C). Aprovechando que el carburo de hierro es una fase metaestable y que su descomposición en $Fe + C$ se ve favorecida por las altas temperaturas se lleva a cabo lo que se conoce como proceso de maleabilización y consta de dos etapas principales:

En la primera fase del recocido, la fundición blanca se calienta lentamente a una temperatura comprendida entre 840 y 980 °C. Durante el calentamiento, la perlita se transforma en austenita al alcanzar la línea crítica inferior y, a medida que aumenta la temperatura, la austenita formada disuelve algo más de cementita.

⁶ Malishev. Shuvalov. Tecnología de los Materiales.

La segunda fase del recocido consiste en un enfriamiento muy lento al atravesar la zona crítica en que tiene lugar la reacción eutectoide. Esto permite a la austenita descomponerse en las fases estables de ferrita y grafito. Una vez realizada la grafitización, la estructura no sufre ninguna nueva modificación durante el enfriamiento a temperatura ambiente, quedando constituida por nódulos de carbono de revenido (rosetas) en una matriz ferrítica, figura 8.

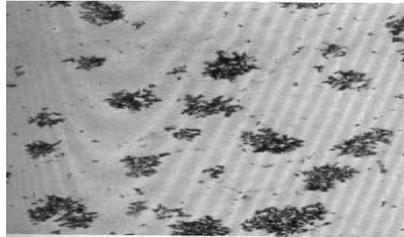


Figura 8. Microestructura de la fundición maleable ferrítica

Fuente: Sydney H. Avner. Introducción a la Metalurgia Física

De ésta manera se obtiene una matriz ferrítica más carbono recocido, conociéndose como hierro ferrítico maleable o estándar. En la figura 9 se muestra en forma esquemática los cambios en la microestructura durante el ciclo de maleabilización.

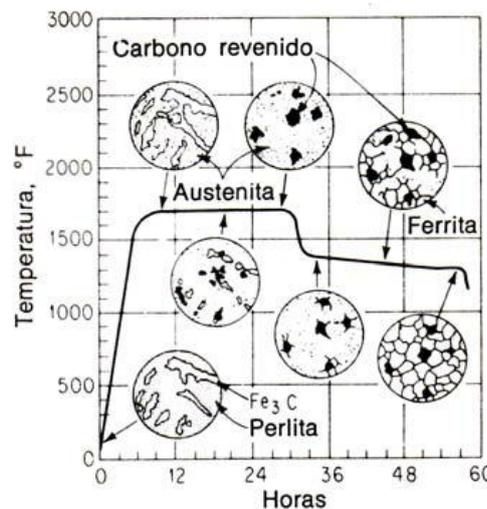


Figura 9. Cambios de microestructura como función del ciclo de maleabilización

Fuente: Malishev. Shuvalov. Tecnología de los Materiales.

Para obtener una estructura perlítica, se puede agregar manganeso durante el ciclo regular para retener carbono combinado por toda la matriz o se puede variar la segunda etapa del proceso, es decir se varía la velocidad de enfriamiento a partir de la temperatura de 760 °C. La cantidad de perlita formada depende de la temperatura a que empiece el enfriamiento y la rapidez de éste. Las altas temperaturas de temple y la rapidez de enfriamiento (aire en ráfaga) dan como resultado mayor cantidad de carbono retenido o perlita. Si el temple es en aire produce una rapidez de enfriamiento suficientemente grande a través del intervalo eutectoide y la matriz será perlítica completamente

Las características de estos hierros fundidos se pueden considerar intermedias entre los hierros grises y los hierros fundidos nodulares, siendo los hierros maleables con matriz perlítica los más resistentes, pero un poco menos dúctil. Poseen buena resistencia al desgaste, al impacto térmico, excelente maquinabilidad y poca capacidad de ser soldados especialmente los de matriz perlítica.

Sus principales aplicaciones son:

Para la clase ferrítica, en equipo automotriz, agrícola y ferroviario; juntas de expansión y piezas fundidas para barandales de puentes; ensambles de grúas de cadena y rodets industriales; conexiones para tuberías y muchas aplicaciones en ferretería general.

Algunas aplicaciones del hierro perlítico maleable son: cajas para ejes y diferenciales, ejes de levas y cigüeñales para automóviles, engranes, catarinas, pernos de unión para cadenas y ménsulas elevadoras en equipo transportador, etc.

Finalmente, debe decirse que actualmente ha decrecido de manera sustancial el tonelaje producido de hierro maleable como consecuencia de lo costoso del tratamiento térmico necesario para obtener las rosetas de grafito.

En las tablas 4 y 5 se presentan las propiedades mecánicas de los hierros fundidos maleables, según ASTM:

Tabla 4. Propiedades mecánicas de los hierros maleables ferríticos.

Designación	Diámetro de la probeta mm	Resistencia máxima N/mm ²	Resistencia a la fluencia N/mm ²	% ε (L ₀ = 3d) % min	Dureza BHN
W 35-04	9 - 15	340 - 360	-	5 - 3	230
W 38-12	9 - 15	320 - 380	170 - 210	15 - 8	200
W 40-05	9 - 15	360 - 420	200 - 230	8 - 4	220
W 45-07	9 - 15	400 - 480	230 - 280	10 - 4	220

Tabla 5. Propiedades mecánicas del hierro fundido maleable perlítico

Designación	Diámetro de la probeta mm	Resistencia máxima N/mm ²	Resistencia a la fluencia N/mm ²	% ε (L ₀ = 3d) % min	Dureza BHN
B 30-06	12 - 15	300	-	6	150 max
B 32-12	12 - 15	320	190	12	150 max
B 35-10	12 - 15	350	200	10	150 max
P 45-06	12 - 15	450	270	6	150-200
P 50-05	12 - 15	500	300	5	160-220
P 55-04	12 - 15	550	340	4	180-230
P 60-03	12 - 15	600	390	3	200-250
P 65-02	12 - 15	650	430	2	210-260
P 70-02	12 - 15	700	530	2	240-290
P 80-01	12 - 15	800	600	1	270-310

Fuente Tabla 4 y 5: Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González.

Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico

2.4.6. HIERRO FUNDIDO ENDURECIDO LOCALMENTE (CHILLED IRON) ^[7]

⁷ Callister, William.. Introducción a la ciencia e Ingeniería de los Materiales.

Cuando un área localizada de hierro gris se enfría rápidamente desde el estado líquido, en ese lugar se forma hierro fundido blanco, el cual se conoce como chilled iron, figura 10.

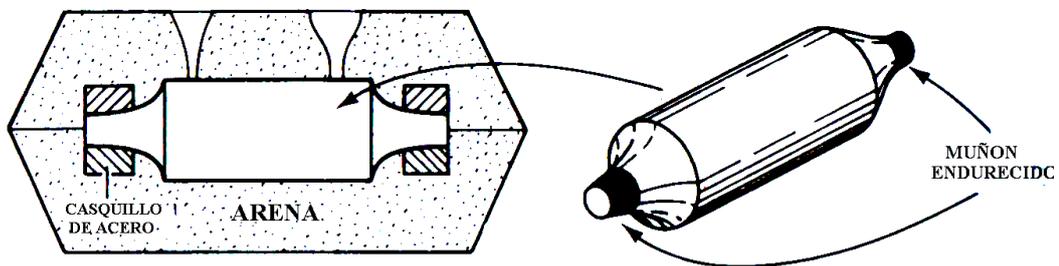


Figura 10. Endurecimiento local del hierro fundido (chilled iron)

Fuente: John E. Neely., Metalurgia y materiales Industriales

Este tipo de fundición también puede producirse ajustando el contenido de carbono del hierro fundido blanco, de tal modo, que la velocidad de enfriamiento en la superficie sea lo suficientemente rápido para formar hierro fundido blanco, mientras que debajo de la superficie donde se tienen menores velocidades de enfriamiento se forma hierro gris. Al aumentar el contenido de carbono, la profundidad del temple se reduce y aumenta la dureza de la zona endurecida.

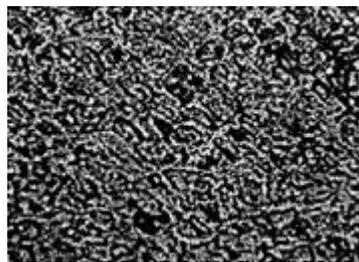


Figura 11. Estructura típica en las fundiciones endurecidas localmente

Fuente: Sydney H. Avner. Introducción a la Metalurgia Física

El cromo se utiliza en pequeñas cantidades para controlar la profundidad del temple. Como consecuencia de la formación de carburos de cromo, se utiliza en cantidades de 1 al 4 % para incrementar la dureza y mejorar la resistencia a la abrasión. También estabiliza al carburo y suprime la formación de grafito en

secciones gruesas. Cuando se agrega en cantidades del 12 al 35 % proporciona resistencia a la corrosión y oxidación a temperaturas elevadas.

2.4.7. FUNDICIONES ALEADAS^[8]

Las fundiciones aleadas son aquellas que contienen Ni, Cr, Mo, Cu, etc., en porcentaje suficiente para mejorar las propiedades mecánicas de las fundiciones ordinarias o para comunicarles alguna otra propiedad especial, como alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la corrosión, al calor etc.

2.4.7.1. EFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN LAS FUNDICIONES

Los elementos de aleación modifican la microestructura de las fundiciones y con ello su dureza y resistencia, estando en ocasiones estos cambios influenciados, además, por una variación de la templabilidad.

Los elementos de aleación modifican también como en los aceros, la situación de los puntos críticos y además ejercen una acción muy importante y compleja de la grafitización.

En la tabla 6 se señala la influencia que los diversos elementos aleados ejercen sobre la formación del grafito y de los carburos y sobre las características de la matriz, y en la tabla 7 se señala la influencia que tienen sobre los puntos críticos.

⁸ Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología.

Tabla 6. Influencia que los diversos elementos aleados ejercen sobre la formación del grafito y de los carburos y sobre las características de la matriz,

Elemento.	Grafitización y coeficientes de grafitización.	Efecto sobre los carburos a alta temperatura.	Efecto en la estructura del grafito.	Efecto en el carbono combinado de la perlita.	Efecto que produce en la matriz.
Carbono.	Favorece	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Silicio.	Favorece +1	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Aluminio.	Favorece +0.5	Decrece estabilidad	Engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Titanio.	Favorece +0.4	Decrece estabilidad	Afina fuertemente	Decrece	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Níquel.	Favorece +0.35	Decrece ligeramente estabilidad	Afina ligeramente	Decrece y estabiliza la perlita	Afina la perlita y da dureza
Cobre.	Favorece +0.20	Indiferente	Indiferente	Decrece ligeramente	Da dureza
Manganeso.	Se opone -0.25	Estabiliza	Afina ligeramente	Aumenta	Afina la perlita y da dureza
Molibdeno.	Se opone -0.30	Indiferente	Afina fuertemente	Aumenta ligeramente	Afina la perlita y da resistencia
Cromo.	Se opone -1	Estabiliza fuertemente	Afina ligeramente	Aumenta	Afina la perlita y da dureza
Vanadio.	Se opone -2.5	Estabiliza fuertemente	Afina	Aumenta	Afina la perlita y da dureza

Fuente: <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2001/adi/cast.iron.html>

Tabla 7 Influencia que tienen los diversos elementos de aleación sobre los puntos críticos

Modificación Que se produce.	Si.	Mn.	Ni.	Cr.	Al.	Mo.
Desplazamiento del punto eutéctico	Hacia la izquierda	Hacia la derecha	Hacia la izquierda	Hacia la izquierda		
Desplazamiento de la temperatura eutectoide	Hacia arriba	Hacia abajo	Hacia abajo	Hacia abajo	Hacia arriba	
Templabilidad		Aumenta		Aumenta	Reduce	Aumenta
Desplazamiento del punto eutectoide	Hacia la izquierda					

Fuente: <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2001/adi/cast.iron.html>

Ciertos elementos como el silicio, aluminio, níquel y cobre, que se disuelven en la ferrita, la endurecen y la hacen aumentar su resistencia, siendo elementos que favorecen la grafitización.

Otros elementos como el cromo, manganeso, y molibdeno son formadores de carburos, esto es, son elementos que tienden a formar fundición blanca en vez de gris y dificultan la grafitización

La influencia que ejercen diversos contenidos de cromo, así como las microestructuras y características que se obtienen en cada caso, se describen a continuación:

El cromo en porcentajes de 0.10 a 0.20% afina la perlita y el grafito de las fundiciones ordinarias.

Con 1% de cromo se provoca ya la aparición de carburos de gran dureza, que, además, son muy estables a altas temperaturas.

Con 2% de cromo desaparece el grafito. La fundición gris se convierte en blanca y la proporción de carburos de cromo aumenta.

Con 6% la matriz es perlítica y la cantidad de carburos que aparecen en la micro estructura es ya muy importante.

A partir de 12% de cromo, los carburos se afinan y se disponen en red apareciendo austenita en la microestructura.

Cuando se llega a 30% de cromo, se observa que la matriz es ya ferrítica y que en ella hay pequeñas cantidades del eutéctico (ferrita y carburo de cromo). Estas fundiciones no tienen ya puntos de transformación en el calentamiento y en su estructura aparecen carburos de cromo fino incrustados en la matriz.

Las fundiciones de muy alto porcentaje de cromo pueden resistir bien a la oxidación y a la corrosión. Se consigue buena resistencia a la oxidación cuando el

contenido en cromo es por lo menos igual a 10 veces el del carbono, además resistirán también a la corrosión cuando el cromo es más de 15 veces el carbono.

2.4.7.2. CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDICIONES ALEADAS.

De una forma general, se pueden clasificar las fundiciones aleadas en dos grupos:

1. Fundiciones de baja y media aleación, que se caracterizan por tener pequeñas cantidades de Ni, Cr, Mo, y Cu, generalmente en porcentajes inferiores a 5%. En general, son fundiciones de alta resistencia a la tracción, de 25 a 50 kg/mm², muy superior a la de las fundiciones ordinarias. Suelen ser de estructura perlítica, bainítica y martensítica. También pertenecen a este grupo de fundiciones de baja aleación las fundiciones con 1 a 2% de cromo resistente al calor y las fundiciones martensíticas muy resistentes al desgaste.

2. En esta familia, se suelen agrupar las fundiciones muy resistentes al desgaste, al calor y a la corrosión y cuya microestructura suele ser austenítica o ferrítica.

2.4.7.2.1. Fundiciones de baja y media aleación.

Estas fundiciones suelen contener cantidades de níquel, cromo, molibdeno y cobre en porcentajes generalmente inferiores al 1.5%. En estas fundiciones de gran resistencia, es frecuente que los elementos aleados estén en la proporción de una parte de cromo y dos o tres partes de níquel. El cobre y el molibdeno, en general, suelen encontrarse en cantidades relativamente pequeñas, empleándose estos elementos unas veces solos y otras con níquel o cromo, o con ambos a la vez. En ocasiones mucho menos frecuentes, estas fundiciones contienen también pequeñas cantidades de titanio y vanadio, que son añadidos principalmente para conseguir disminuir el tamaño de las láminas de grafito o para afinar la matriz, y para mejorar también la resistencia al desgaste.

2.4.7.2.2. Fundiciones de alta resistencia a la tensión.

En este grupo se incluyen una gran variedad de fundiciones de composiciones muy diversas y resistencia a la tracción, variables de 25 a 50 kg/mm². A este grupo pertenecen ciertas fundiciones al níquel, fundiciones al cromo, al cromo-níquel, al cobre etc.

En estas fundiciones, una de las ventajas más importantes del empleo de los elementos de aleación, es que con ellos se evita la formación de grandes láminas de grafito y se aumenta la resistencia de la matriz.

También es importante señalar que la presencia de esos elementos reducen la susceptibilidad de las fundiciones a las variaciones de sección. Es decir, se consiguen que las propiedades sean más constantes en piezas de diferentes espesores. Además, la matriz de las fundiciones aleadas tienen más resistencia y dureza que la matriz de las fundiciones ordinarias.

Como es tan grande el número de fundiciones que pertenecen a este grupo y tan numerosas y particulares sus aplicaciones, es difícil señalar las características propias de cada composición. En algunos aspectos puede decirse que en ellas la influencia de los elementos de aleación es la misma que en la de los aceros.

2.4.7.3. FUNDICIONES MARTENSÍTICAS RESISTENTES AL DESGASTE.

Para la fabricación de piezas que deban tener gran resistencia al desgaste, o que exijan muy altas durezas o deban sufrir grandes presiones, se emplean fundiciones martensíticas al níquel y al manganeso. Las fundiciones martensíticas más

utilizadas son las blancas. Sin embargo, también se fabricaban fundiciones martensíticas que son de usos más restringidos.

- **Fundiciones martensíticas blancas al níquel:**

Estas fundiciones suelen contener 4.5% de níquel, 2% de cromo, y bajo silicio, 0.50%, alcanzándose con ellas durezas variables de 500 a 700 BHN. En América estas fundiciones martensíticas al níquel que son fundiciones blancas son conocidas con la denominación Ni-hard.

- **Fundiciones martensíticas grises:**

Estas fundiciones un bruto de colada estructura martensítica por simple enfriamiento en arena. Suelen conocerse a veces con la denominación de fundiciones autotemplables por la elevada dureza 400 a 450 BHN que adquieren directamente de la colada sin ningún tratamiento. No pueden ser mecanizadas con herramientas ordinarias.

2.4.7.4. FUNDICIONES RESISTENTES AL CALOR CON 1% DE CROMO.

Una de las dificultades del empleo de las fundiciones ordinarias para ciertos usos es el hinchamiento que experimentan cuando sufren calentamiento a temperaturas superiores a 4500 .Para muy elevadas temperaturas de servicio y en ocasiones en que no importa mucho el precio, se emplean fundiciones austeníticas con 15 o 20% de níquel. Pero cuando el calentamiento del material no pasa de los 700 °C y no se pueden emplear materiales caros, se pueden usar las fundiciones aleadas con pequeños porcentajes de cromo y bajo contenido en silicio, con las que se obtienen muy buenos resultados.

Se pueden usar de 0.6 a 1.25% de cromo que actúa como elemento estabilizador de carburos y contenidos bajos en silicio de 1.5 a 2% para limitar la grafitización, que es una de las causas del hinchamiento.

2.4.7.5. FUNDICIONES DE ALTA DUREZA CON 1 A 3% DE CROMO.

Empleando contenidos de cromo variables de 1 a 2% se obtienen fundiciones blancas de dureza muy elevada. Estas fundiciones se emplean bastante poco, casi exclusivamente en casos en que interesa gran resistencia al desgaste y a la abrasión, y no importa mucho la tenacidad del material. Para la fabricación de placas de blindaje, piezas de rozamiento, zapatas de freno, guías de rodadura, son muy empleadas fundiciones blancas de 2 a 3% de cromo, con durezas variables 400 a 450 BHN.

2.4.7.6. FUNDICIONES ALEADAS AL ALTO CROMO.

Las fundiciones con alto porcentaje de cromo se pueden clasificar en dos familias:

1. Fundiciones con 6 a 25% de cromo, que son fundiciones blancas de muy elevada dureza: 400 a 550 BHN.
2. Fundiciones con 33% de cromo, que son de estructura ferrítica.

Las primeras son de gran resistencia al desgaste y buena resistencia al calor, y las segundas tienen muy buena resistencia a la oxidación a temperaturas muy elevadas.

En la tabla 8 se proporcionan la composición química de algunas fundiciones al cromo y al silicio de uso frecuente.

Tabla 8. Composiciones de algunas fundiciones al cromo y al silicio de uso frecuente.

Fundiciones al Cr.	Carbono (%)	Silicio (%)	Cromo (%)	DUREZA (%)
	3.25	1.75	0.50	275
	3.6	2	1	300
	3.6	2	1.75	350
	3.25	2.70	2.50	390
	1.75	1.75	6	390
	1.80	1.75	16	450
	1.80	1.75	25	450
	1	1.75	30	265
Fundiciones al silicio				
	2.40	6.5		290
	0.7	15		500

Fuente: <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2001/adi/cast.iron.html>

2.4.7.7. FUNDICIONES ALEADAS CON ALUMINIO.

Recientemente se han comenzado a fabricar y emplear ciertas fundiciones con aluminio. Sin embargo, en la actualidad todavía su empleo es muy limitado, porque su fabricación es muy difícil. La adición de cantidades de aluminio superiores al 6.5% hace desaparecer el grafito en las fundiciones y hace que aparezca la matriz formada por ferrita y carburos complejos. Esta estructura ferrítica como la de las fundiciones al silicio es inoxidable y resistente al calor.

Las dos clases más importantes son:

1. Las fundiciones con 7% de aluminio que tienen buena resistencia al calor y pueden utilizarse hasta 950 °C . Se mecanizan bastante bien. Su resistencia a la tracción es de unos 18 kg/mm² y su dureza de 300 BHN.
2. Las fundiciones con más de 8% de aluminio que tienen muy buena resistencia a la oxidación y pueden ser utilizadas a más altas temperaturas, hasta unos 1000 °C. Son difíciles de mecanizar salvo con ruedas abrasivas. Su resistencia a la tracción es de unos 13 kg/mm² y su dureza suele variar de 250 a 500 BHN.

2.4.8. TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL HIERRO FUNDIDO^[9]

La primera etapa de la mayoría de los tratamientos térmicos diseñados para cambiar la estructura y propiedades del hierro fundido consiste en calentar y mantener en una temperatura entre 850-950 °C durante 1hs más 1hs por cada 25 mm de espesor de sección, para homogeneizar el hierro. Cuando se presentan carburos en la estructura la temperatura debe ser aproximadamente 900-950 °C, lo cual descompone los carburos previo a los siguientes pasos del tratamiento térmico. El tiempo puede extenderse de 6-8 hs si se presentaran elementos estabilizantes de carburos. Para fundiciones de forma compleja, donde pueden aparecer tensiones por un calentamiento no uniforme, el calentamiento inicial hasta 600 °C debe ser lento, preferentemente 50-100 °C/hs. Para prevenir escamaduras y descarburización de la superficie durante esta etapa del tratamiento, se recomienda que la temperatura en horno no-oxidante sea mantenida usando un horno sellado; puede ser requerida una atmósfera controlada. Deben tomarse más cuidados en fundiciones susceptibles a distorsión y evitar el apilamiento. Los tratamientos térmicos más importantes y sus propósitos son:

- Aliviamiento de tensiones, tratamiento a baja temperatura, para reducir o aliviar tensiones internas remanentes después de la colada.
- Recocido, para mejorar la ductilidad y tenacidad, para reducir dureza y remover carburos.
- Normalizado, para mejorar la resistencia con algo de ductilidad.
- Temple y revenido, para aumentar la dureza o mejorar la resistencia y una más alta tensión de prueba ($\sigma_{0.2}$).
- Austemperizado, para producir estructuras bainíticas de alta resistencia con algo de ductilidad y buena resistencia al desgaste.

⁹ John E. Neely. Metalurgia y materiales Industriales

- Endurecimiento superficial por inducción, para mejorar resistencia al desgaste.

2.4.8.1 RECOCIDO

El propósito principal del mismo es generar una estructura ferrítica y remover perlita y carburos, lográndose así la máxima ductilidad y tenacidad. El recocido puede ser usado para lograr propiedades específicas, como un 15% o más de elongación. El tratamiento puede tener variantes, pero los más comunes son el enfriamiento interrumpido, enfriamiento lento controlado y tratamiento en una sola etapa.

Enfriamiento interrumpido: la primera etapa es homogeneizar el hierro como se ha descrito antes. Esto es seguido por un enfriamiento hasta 680-700 °C y mantenido a esta temperatura de 4-12 hs para desarrollar la ferrita. Cuanto mayor sea la pureza del hierro, más corto será el tiempo requerido. Las fundiciones de forma sencillas pueden ser enfriadas en horno por debajo de los 650 °C y enfriadas al aire, pero las fundiciones complejas que pueden desarrollar tensiones residuales deben ser enfriadas en horno de acuerdo a las recomendaciones mencionadas para el aliviamiento de tensiones.

Enfriamiento lento controlado: la primera etapa es la homogenización como se ha dicho antes; esto es seguido por un enfriamiento a razón de 30-60 °C por hora desde los 800-650 °C. Hierros de más baja pureza requieren de tasas de enfriamiento más lentas. El enfriamiento a temperatura ambiente se lleva a cabo como el método interrumpido.

Tratamiento de una sola etapa: la fundición es calentada desde la temperatura ambiente hasta los 680-700 °C, sin una austenización previa, es entonces mantenida a esta temperatura por 2-16 hs para que grafitice la perlita. El tiempo aumenta con la disminución de la pureza del metal, y generalmente es mayor que para los otros métodos debido a la falta de una homogenización previa. El enfriamiento a temperatura ambiente se lleva a cabo como en el método de enfriamiento interrumpido. Este tratamiento se aplica solo para quitar la perlita en hierros con carburo no eutéctico. Si el hierro contiene carburos debe usarse el método del enfriamiento interrumpido o el del enfriamiento lento controlado.

2.4.8.1.1 Selección del tratamiento del recocido: los recocidos más rápidos se dan en los hierros de más alto contenido de silicio, bajo Mn, Cu, Sn, As y Sb, y generalmente bajo contenido de partículas de elementos menores. Si el hierro no contiene carburos cualquier método de los explicados se puede usar, pero para una óptima ductilidad debe elegirse el método de enfriamiento interrumpido. Debe remarcarse que con el tratamiento en una sola etapa los granos de ferrita en la estructura serán menores que para los otros tratamientos y también será menor la ductilidad y tenacidad. La temperatura de formación de ferrita de 680-700 °C, puede aumentarse con el aumento del contenido de silicio. El ciclo del recocido se puede variar para obtener estructuras de matrices mezcladas de perlita y ferrita, con una alta resistencia y ductilidad intermedia. Un marcado aumento de las dimensiones ocurre durante el recocido debido a la grafitización de la perlita y carburos.

2.4.9 ENSAYOS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES^[6]

Muchos materiales cuando están en servicio están sujetos a fuerzas o cargas. En tales condiciones es necesario conocer las características del material para diseñar el instrumento donde va a usarse de tal forma que los esfuerzos a los que vaya a

estar sometido no sean excesivos y el material no se fracture. El comportamiento mecánico de un material es el reflejo de la relación entre su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada.

Hay tres formas principales en las cuales podemos aplicar cargas: Tensión, Compresión y Cizalladura. Además en ingeniería muchas cargas son torsionales en lugar de sólo cizalla. (Figura 12)

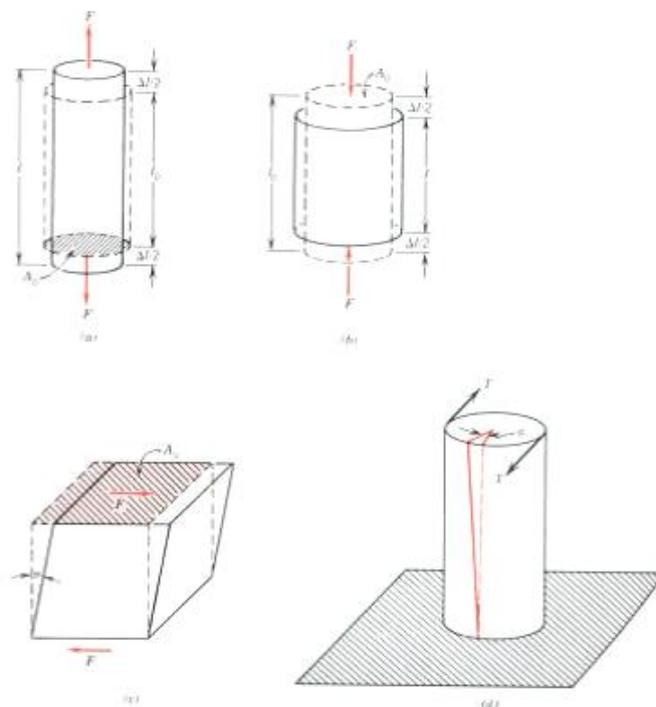


Figura 12. Tipos de fuerzas o cargas aplicadas a los materiales.

Fuente: Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología.

- **Tensión.** Consideremos una varilla cilíndrica de longitud l_0 y una sección transversal de área A_0 sometida a una fuerza de tensión uniaxial F , como se muestra en la figura 13

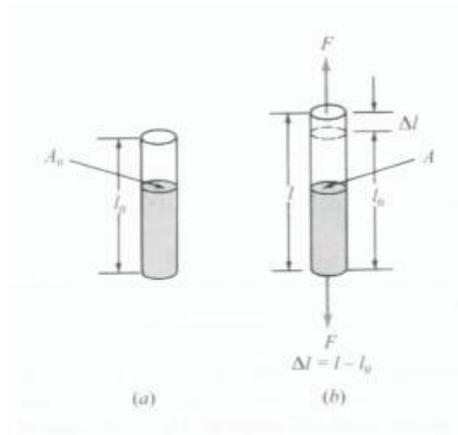


Figura 13. a) Barra antes de aplicarle la fuerza b) Barra sometida a una fuerza de tensión uniaxial F que alarga la barra de longitud l_0 a l .

Fuente: Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología.

Por definición, la tensión σ en la barra es igual al cociente entre la fuerza de tensión uniaxial media F y la sección transversal original A_0 de la barra.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Ec. 2.1

- **Deformación o alargamiento:** Cuando se aplica a una barra una fuerza de tensión uniaxial, tal como se muestra en la figura 2.13, se produce una elongación de la varilla en la dirección de la fuerza. Tal desplazamiento se llama deformación. Por definición, la deformación originada por la acción de una fuerza de tensión uniaxial sobre una muestra metálica, es el cociente entre el cambio de longitud de la muestra en la dirección de la fuerza y la longitud original.

$$\xi = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \left[\frac{m}{m} \right]$$

Ec. 2.2

Donde:

- l es la longitud después de la acción de la fuerza
- l_0 es la longitud inicial de la pieza

Normalmente la deformación se determina mediante el uso de una pequeña longitud, normalmente de 2 pulgadas, que se denomina longitud de calibración, dentro de una muestra más larga, por ejemplo de 8 pulgadas.

Como puede deducirse de la fórmula, la deformación es una magnitud a dimensional. En la práctica, es común convertir la deformación en un porcentaje de deformación o porcentaje de elongación..

$$\% \text{ deformación} = \text{deformación} \times 100\% = \% \text{ elongación} \quad \text{Ec. 2.3}$$

- **Deformación elástica y plástica** Cuando una pieza se somete a una fuerza de tensión uniaxial, se produce una deformación del material. Si el material vuelve a sus dimensiones originales cuando la fuerza cesa se dice que el material ha sufrido una deformación elástica. El número de deformaciones elásticas en un material es limitado ya que aquí los átomos del material son desplazados de su posición original, pero no hasta el extremo de que tomen nuevas posiciones fijas. Así cuando la fuerza cesa, los átomos vuelven a sus posiciones originales y el material adquiere su forma original. Si el material es deformado hasta el punto que los átomos no pueden recuperar sus posiciones originales, se dice que ha experimentado una deformación plástica.
- **Dureza.** Es una medida de la resistencia de un material a la deformación permanente (plástica) en su superficie, o sea la resistencia que opone un material a ser rayado o penetrado. La dureza de una material se mide de varias formas dentro de las cuales se pueden destacar las durezas “mecánicas” y la dureza de Mohs. En las durezas mecánicas se utiliza un penetrador sobre la superficie del material. Sobre este penetrador se ejerce una carga conocida presionando el penetrador a 90° de la superficie del material de ensayo. El penetrador tiene diferentes formas y de acuerdo a esta es la huella que queda impresa en el material. De acuerdo a la

geometría de la huella y a la carga. Se utilizan diferentes fórmulas para determinar el valor de la dureza. Actualmente hay aparatos que leen la dureza de una forma digital. Es así como puede establecerse la dureza Brinell, Vickers, Knoop, y Rockwell

- **Dureza brinell** El indentador es una bola de carburo de tungsteno o de acero endurecido. Este indentador se presiona sobre la superficie del material a medir durante un tiempo standard (10 – 15 segundos) bajo una carga standard. Después de remover la carga, la indentación circular se mide en dos direcciones mutuamente perpendiculares, sacando el promedio de las dos medidas. La dureza Brinell se calcula por

$$BHN = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde

F: Carga

D: Diámetro de la bola

d: Promedio del diámetro de la indentación

Si el material es suave y el indentador es duro, es posible que el valor d llegue a ser igual al valor de D. En este caso, este valor no sería certero. Para serlo, debe cumplirse que $d = 0.25D$ o $d = 0.5D$. Por esta razón se debe regular la carga aplicada para cada material.

Para aceros, $F / D^2 = 30$

Para aleaciones de Cobre, $F / D^2 = 10$

Limitaciones:

- a. La impresión es grande (2 – 4 mm de diámetro) y esto puede convertirse en un generador de esfuerzos en un componente. Además desmejora la apariencia y esto puede ser inaceptable en algunas aplicaciones:¹⁰
- b. La profundidad de la impresión impide su uso en láminas o superficies endurecidas ya que la impresión podría también involucrar la estructura subyacente

- c. Materiales muy duros deformaran el indentador de aquí que la prueba Brinell se limite para materiales con dureza no superior a 450 HBN para una bola de acero y a 600 HBN para bolas de carburo de tungsteno.

2.4.9.1 ENSAYO DE TENSIÓN Y DIAGRAMA DE TENSIÓN DEFORMACIÓN^[6]

El ensayo de tensión se utiliza para evaluar varias propiedades mecánicas de los materiales que son importantes en el diseño, dentro de las cuales se destaca la resistencia, en particular, de metales y aleaciones.

En este ensayo la muestra se deforma usualmente hasta la fractura incrementando gradualmente una tensión que se aplica uniaxialmente a lo largo del eje longitudinal de la muestra. Las muestras normalmente tienen sección transversal circular, aunque también se usan especímenes rectangulares. (Figura 14).

Durante la tensión, la deformación se concentra en la región central más estrecha, la cual tiene una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud. La muestra se sostiene por sus extremos en la máquina por medio de soportes o mordazas que a su vez someten la muestra a tensión a una velocidad constante. La máquina al mismo tiempo mide la carga aplicada instantáneamente y la elongación resultante (usando un extensómetro). Un ensayo de tensión

6 Malishev. Shuvalov. Tecnología de los Materiales

normalmente dura pocos minutos y es un ensayo destructivo, ya que la muestra es deformada permanentemente y usualmente fracturada.

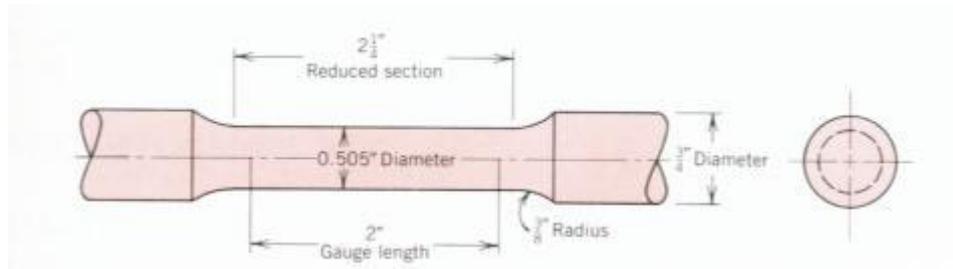


Figura 14. Muestra típica de sección circular para el ensayo de tensión – deformación

Fuente: Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología.

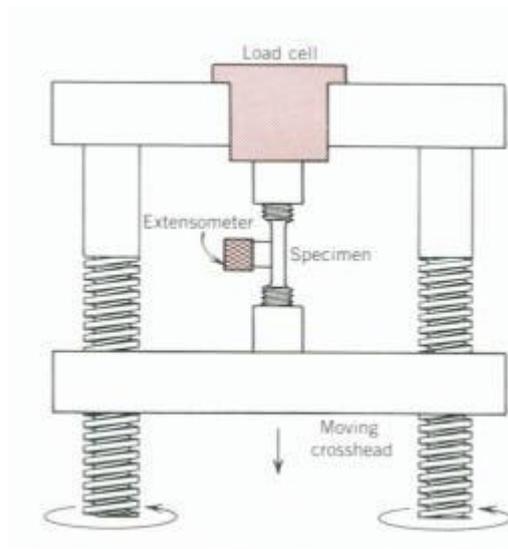


Figura 15. Ensayo tensión – deformación

Fuente: Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología.

Sobre un papel de registro, se consignan los datos de la fuerza (carga) aplicada a la muestra que está siendo ensayada así como la deformación que se puede obtener a partir de la señal de un extensómetro. Los datos de la fuerza pueden convertirse en datos de tensión y así construirse una gráfica tensión – deformación, como la que se observa en la figura 16.

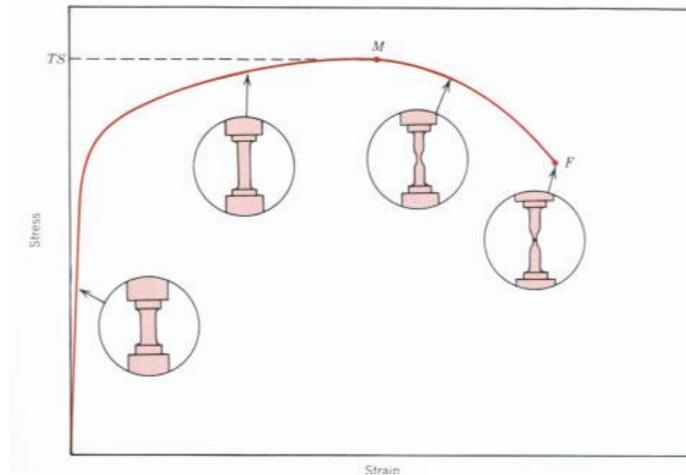


Figura 16. Gráfica típica tensión vs deformación

Fuente: Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología.

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

1. Módulo de elasticidad
2. Límite elástico a 0.2%
3. Resistencia máxima a la tensión
4. Porcentaje de elongación a la fractura
5. Porcentaje de reducción en el área de fractura

1. Módulo de elasticidad

En la primera parte del ensayo de tensión, el material se deforma elásticamente, o sea que si se elimina la carga sobre la muestra, volverá a su longitud inicial. Para metales, la máxima deformación elástica es usualmente menor a un 0.5%. En general, los metales y aleaciones muestran una relación lineal entre la tensión y la deformación en la región elástica en un diagrama tensión – deformación que se describe mediante la ley de Hooke:

$$\sigma = E\xi$$

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

Ec. 2.5

Donde:

E es el módulo de elasticidad o módulo de Young

σ es el esfuerzo o tensión

ξ es la deformación

El módulo de Young tiene una íntima relación con la fuerza de enlace entre los átomos en un material. Los materiales con un módulo elástico alto son relativamente rígidos y no se deforman fácilmente.

Nótese que en la región elástica del diagrama tensión – deformación el módulo de elasticidad no cambia al aumentar la tensión.

2. Límite elástico

Es la tensión a la cual un material muestra deformación plástica significativa. Debido a que no hay un punto definido en la curva de tensión – deformación donde acabe la deformación elástica y se presente la deformación plástica se elige el límite elástico cuando tiene lugar un 0.2% de deformación plástica, como se indica en la figura 17.

El límite elástico al 0.2% también se denomina esfuerzo de fluencia convencional a 0.2%.

Para determinarlo se procede así:

Inicialmente se dibuja una línea paralela a la parte elástica (lineal) de la gráfica tensión – deformación a una deformación de 0.002 (m/m ó pulg/pulg).

En el punto donde la línea intercepta con la parte superior de la curva tensión – deformación, se dibuja una línea horizontal hasta el eje de tensión. El esfuerzo de fluencia convencional a un 0.2% es la tensión a la que la línea horizontal intercepta con el eje de tensión. Debe aclararse que el 0.2% se elige arbitrariamente y podría haberse elegido otra cantidad pequeña de deformación permanente.

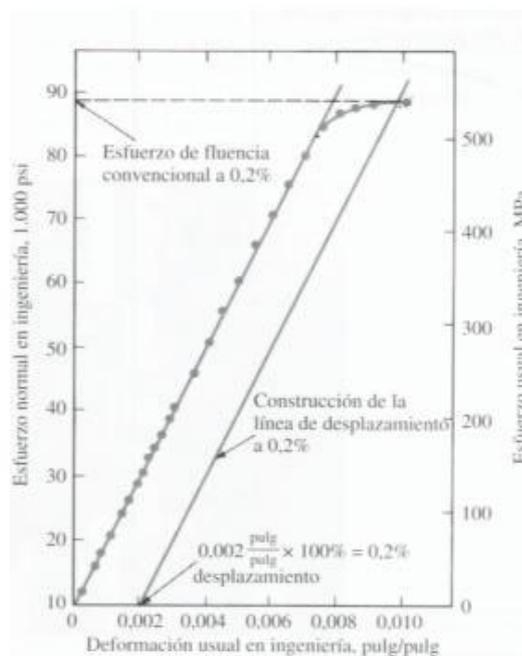


Figura 17. Obtención del límite elástico al 0.2%

Fuente: Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología.

3. Resistencia máxima a la tensión

La resistencia máxima a la tensión es la tensión máxima alcanzada en la curva de tensión – deformación. Si la muestra desarrolla un decrecimiento localizado en su sección (un estrangulamiento de su sección antes de la rotura), la tensión

decrecerá al aumentar la deformación hasta que ocurra la fractura puesto que la tensión se determina usando la sección inicial de la muestra. Mientras más dúctil sea el metal, mayor será el decrecimiento en la tensión en la curva tensión-deformación después de la tensión máxima.

La resistencia máxima a la tensión de un material se determina dibujando una línea horizontal desde el punto máximo de la curva tensión – deformación hasta el eje de las tensiones (punto TS en la figura 2.16). La tensión a la que la línea intercepta al eje de tensión se denomina resistencia máxima a la tensión, o a veces simplemente resistencia a la tensión o tensión de fractura.

4. Porcentaje de elongación (estiramiento)

La cantidad de elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de la ductilidad de un material. La ductilidad de los materiales comúnmente se expresa como porcentaje de la elongación, comenzando con una longitud de calibración usualmente de 2 pulg (5,1 cm). En general, a mayor ductilidad (más deformable es el metal), mayor será el porcentaje de la elongación.

El porcentaje de elongación de una muestra después de la fractura puede medirse juntando la muestra fracturada y midiendo longitud final con un calibrador. El porcentaje de elongación puede calcularse mediante la ecuación

$$\% \text{ elongación} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad \text{Ec. 2.6}$$

Este valor es importante en ingeniería no solo porque es una medida de la ductilidad del material, sino también porque da una idea acerca de la calidad del

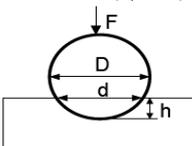
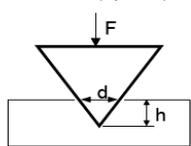
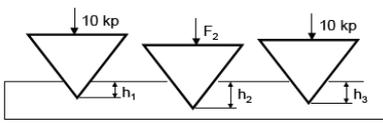
mismo. En caso de que haya porosidad o inclusiones en el material o si ha ocurrido algún daño por un sobrecalentamiento del mismo, el porcentaje de elongación de la muestra puede decrecer por debajo de lo normal

5. Porcentaje de reducción en área

Este parámetro también da una idea acerca de la ductilidad del material. Esta cantidad se obtiene del ensayo de tensión utilizando una muestra de 0.5 pulgadas (12.7mm) de diámetro. Después de la prueba, se mide el diámetro de la sección al fracturar. Utilizando la medida de los diámetros inicial y final, puede determinarse el porcentaje de reducción en el área a partir de la ecuación

$$\% \text{reduccion del área} = \frac{A - A_0}{A_0} \times 100\% \quad \text{Ec. 2.7}$$

2.4.9.2 ENSAYOS DE DUREZA^[8]

TIPO DE ENSAYO	BRINELL HB	VICKERS HV	ROCKWELL	
			HRB	HRC
Tipo de material	no muy duros	muy duros	blandos	duros
Penetrador	Bola de acero templado	pirámide regular de diamante	bola de acero	cono de acero con punta de diamante
Medida	superficie de la huella	superficie de la huella	profundidad de la huella	
Valor de dureza (resultado del ensayo)	$HB = F/S \text{ (Kp/mm}^2\text{)}$  $S = \pi D h = \pi D \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$ Valor dureza igual sólo si $F = K \cdot D^2$	$HV = F/S \text{ (Kp/mm}^2\text{)}$  $S = 4 \cdot \frac{d \cos 45^\circ \cdot h}{2} = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}$	$HRB = 130 - e$	$HRC = 100 - e$  $e = \frac{h_3 - h_1}{0,002}$ (h_3 y h_1 en mm)
Ventajas e inconvenientes	Válido para la mayoría de los aceros. Si las deformaciones son pequeñas el margen de error es grande Hay que medir con un microscopio la diagonal de la huella	Es más exacto que Brinell pero más caro.	es el ensayo más rápido y sencillo pero también el menos preciso (no mide superficie de la huella, sólo su profundidad). El aparato de medida suele dar ya el resultado (no hace falta medir profundidades)	

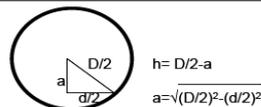
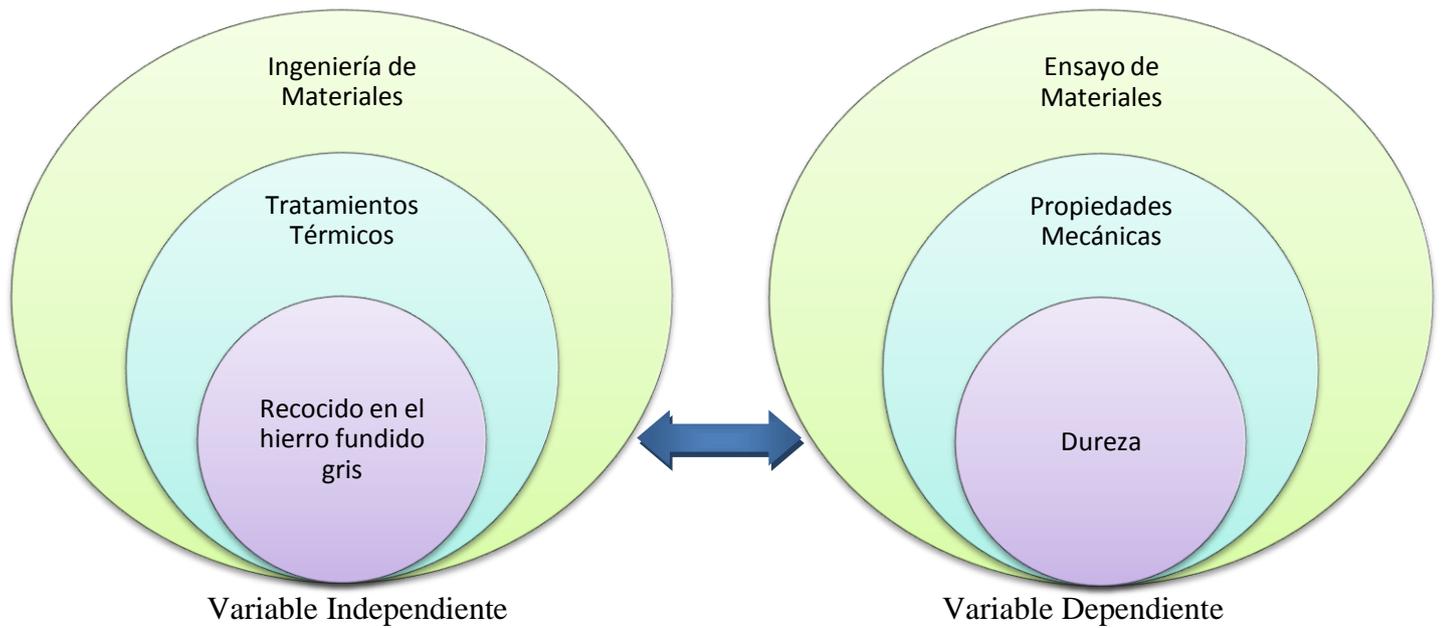


Figura 18. Ensayos de dureza

Fuente: Kalpakjian. Scrope, Manufactura Ingeniería y Tecnología

2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



2.6 HIPÓTESIS

La realización del recocido en el hierro fundido gris disminuirá la dureza, en comparación con las piezas en las que no se realiza ningún tratamiento térmico.

2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.7.1 Variable Independiente

Recocido en el hierro fundido gris

2.7.2 Variable Dependiente

Dureza

2.7.3 Término de Relación

Disminuir

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el presente estudio se utilizarán variables cuantitativas de tipo continuas ya que se manipulara datos numéricos con fraccionamientos, los cuales a su vez serian explicativos para establecer la incidencia en la dureza superficial del hierro fundido gris.

La información inevitable para la realización del estudio proviene tanto de fuentes primarias las cuales nos proporcionan información importante, la misma que será recolectada en fuentes como libros, tesis, documentales e internet, mientras que la información secundaria son los resúmenes y listados de referencias que estén vigentes, así como personas entendidas en el tema que puedan servir de ayuda con su experiencia.

En cuanto a los indicadores se utilizaran tablas, graficas de barras, dispersión entre otros para detallar los resultados obtenidos en el estudio realizado.

3.2 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

La investigación se realizará en según las siguientes modalidades:

3.2.1.1 Bibliográfica. El estudio se lo realizara apoyándose en información obtenida en fuentes como: libros, tesis, revistas técnicas, internet y normas, para conseguir una información correcta.

3.2.1.2 Experimental. Se realizará el completo análisis del los ensayos de recocido y dureza en el laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica para obtener los principales resultados del estudio.

3.2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para la investigación se utilizará los siguientes tipos:

3.2.2.1 Descriptiva

El estudio se basa en la modalidad de investigación descriptiva, ya que su fin es la descripción de fenómenos en este caso una de las propiedades mecánicas como es la dureza superficial en hierro fundido gris cuando se le da un tratamiento térmico como el recocido.

3.2.2.2 Exploratoria

En esta investigación es necesario identificar todas las medidas con las que se va a determinar la incidencia del tema de estudio.

3.2.2.3 Asociación de variables

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

3.2.2.4 Explicativa

Se explicarán detalladamente todos los resultados obtenidos en el estudio para conocer los aspectos que intervienen en el mismo.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

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

1. Hierro fundido gris
2. Tratamientos Térmicos
3. Calentamiento del material
4. Medio de Enfriamiento

3.3.2 Muestra

La muestra que se va a considerar en esta investigación es:

1. Hierro fundido gris
 - Probetas de Hierro fundido gris
2. Tratamientos Térmicos
 - Recocido
3. Calentamiento del material

- Temperaturas de calentamiento del Material

4. Medio de Enfriamiento

- Horno

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 Variable Independiente

Recocido en el hierro fundido gris

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Recocido consiste en calentar un producto y mantener en una temperatura generalmente por debajo del punto crítico, durante un cierto tiempo para homogeneizar el hierro, y el enfriamiento debe ser lento, para luego observar la estructura metalográfica.	Calentamiento del material	¿Cuál es el tiempo de calentamiento del material?	60min x c/25mm 45min x c/25mm	Cronómetro
	Enfriamiento del material	¿Cuál debe ser la temperatura para recocer el material?	850-950°C 750-850°C	Display: Horno de Tratamientos Térmicos
	Estructura Metalográfica	¿Cuál es el medio de enfriamiento que se utiliza?	Horno Ambiente	Observación directa
		¿Cuáles son los constituyentes metalográficos?	Ferrita Perlita Grafito	Observación: Microscopio Metalográfico

3.4.2 Variable Dependiente

Dureza

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
La dureza es la propiedad de un material sólido relacionada con la resistencia a la deformación o abrasión de ser superficie. También se describe como la resistencia a la penetración del material en cuestión.	Valoración de resultados	¿En base a que ensayos se determinan los resultados?	<ul style="list-style-type: none"> - Rayado - Penetración - Choque 	Durómetro
	Características del material	¿Qué factores originan los defectos en el material?	<ul style="list-style-type: none"> - Microestructura no apta - Material sin Tratamiento Térmico 	Observación: Microscopio Metalográfico
	Ensayo de Materiales	¿Cuál es la dureza que el material debe tener?	<ul style="list-style-type: none"> - 149-187HB - 240-300HB 	Durómetro

3.5 RECOLECCION DE LA INFORMACIÓN

Acorde al desarrollo de la operacionalización de variables se recolectará información por medio de la siguiente técnica con sus respectivos instrumentos:

3.5.1 Observación.- Se tomará notas de todos datos necesarios ocurridos en los ensayos para tener una base de datos suficiente, para lo cual se utilizará un cuaderno de notas en el que conste datos de fechas, características, cantidades.

Otros medios de recolección de información serán los equipos del laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.6.1 Plan de procesamiento de la información recogida

- Los datos serán recogidos y analizados de una manera crítica debido a que muchos podrían tener datos extraños, razón por la cual tienen que ser separados.
- Se utilizará varias fuentes para verificar la veracidad de la recolección de datos ya que estos tienen una gran incidencia en el desarrollo del estudio.
- Tabulación de los datos de acuerdo a los parámetros y a la relación que tengan con las variables de la hipótesis.
- Porcentual: Se obtendrá la relación porcentual con respecto al total de los indicadores, con el resultado numérico y con el porcentaje se estructurará el cuadro de resultados que sirve de base para graficar.
- Representación de los resultados obtenidos a través de gráficas estadísticas.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos relacionándolos con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.

3.6.2 Plan de análisis e interpretación de resultados

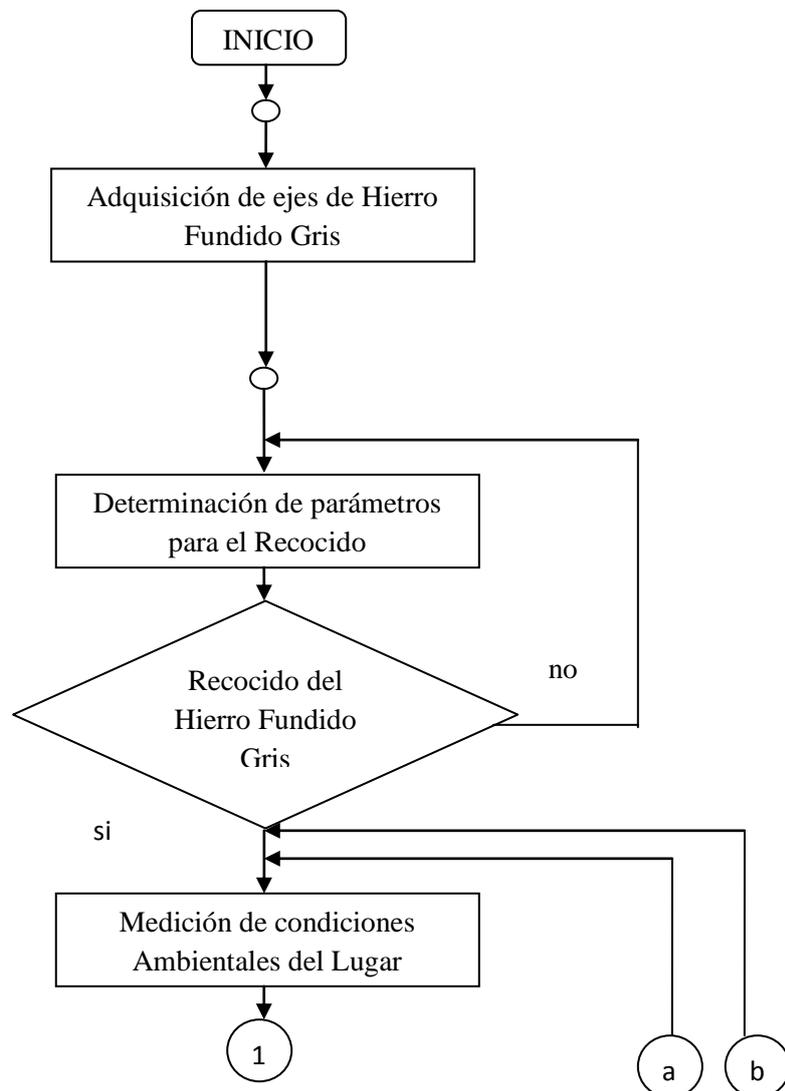
- Análisis de dureza en las probetas que están recocidas en las diferentes condiciones de variación de temperatura y tiempo.
- Análisis de los parámetros críticos que intervienen en la calidad del recocido en el hierro fundido gris.
- Interpretación de resultados con el apoyo del marco teórico.
- Comprobación de la hipótesis.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

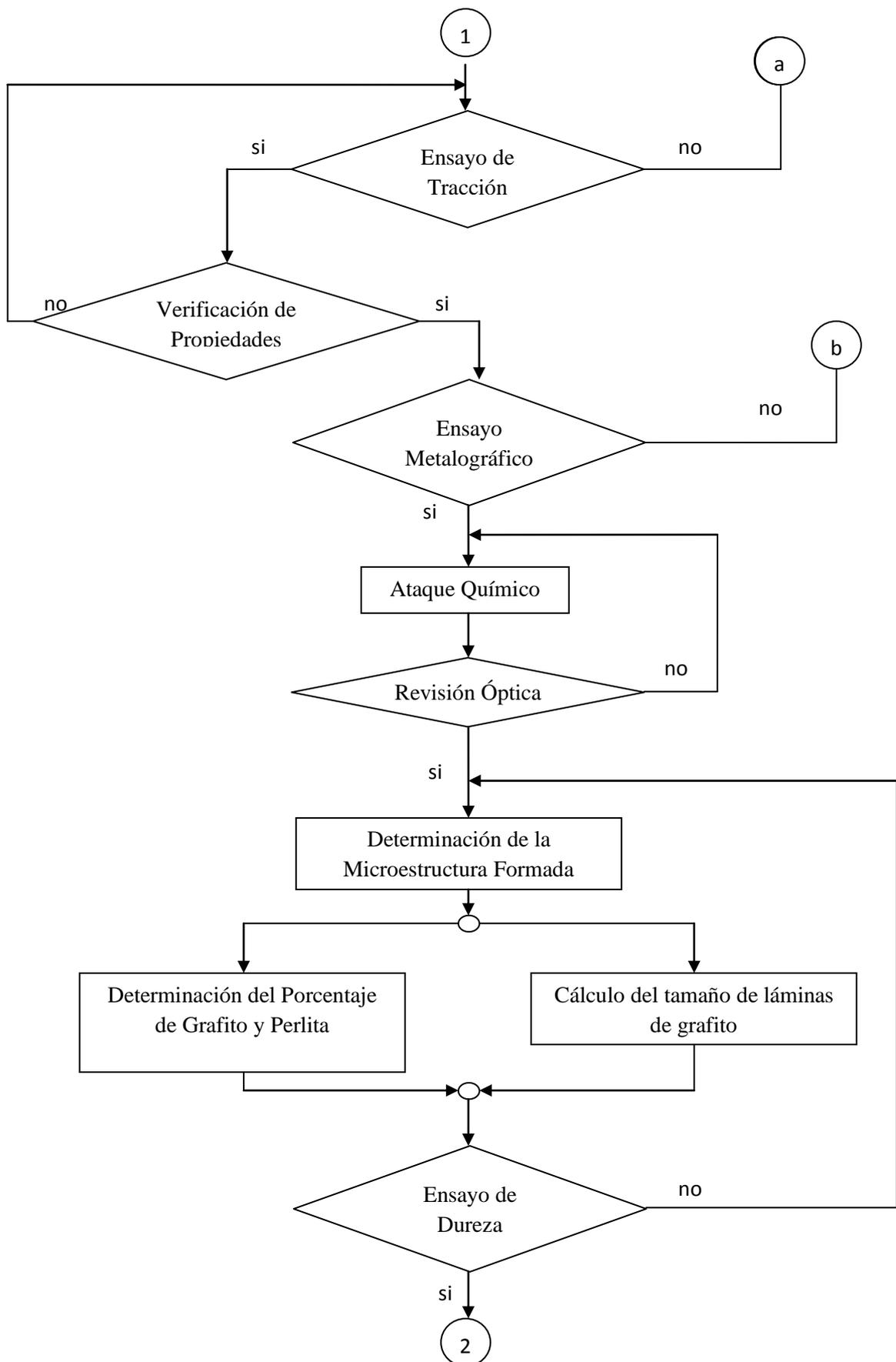
CAPÍTULO IV

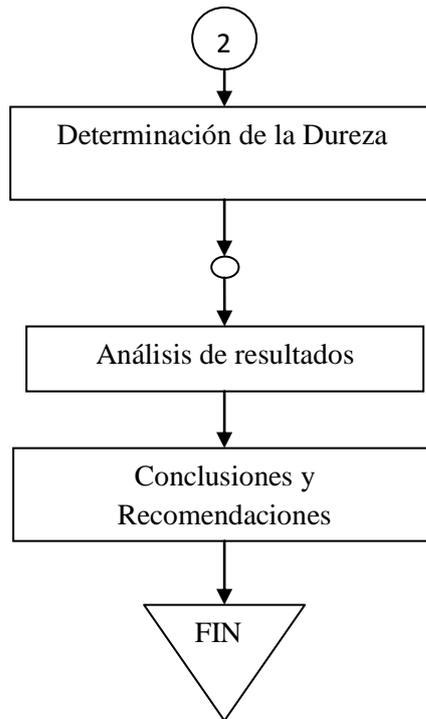
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En el presente estudio se ha considerado el siguiente diagrama de flujo para la toma de resultados, el cual está adecuado según el desarrollo del estudio del Recocido en el Hierro Fundido Gris y la incidencia en la Dureza.







4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:

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

4.2.1 EVALUACIÓN DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS							
PROBETA N°	01	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes		
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		07/06/2011		
Temperatura ambiente del lugar:			20.6°C	Flujo de aire del medio:	Estático		

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL UTILIZADO				
				DETALLE REFERENCIAL
Especificación Material	Hierro Fundido	Tipo o grado:	Gris	
Diámetro:	3/4"	Dureza:	216HB	
Longitud:	0.3937"	Tratamiento Térmico:	Ninguno	
Características:	Eje			
OBSERVACIÓN:				
Hierro Fundido Gris como viene de la Fundidora sin ningún tratamiento térmico y con una dureza promedio de 216 HB.				

1/4



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 01	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	07/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

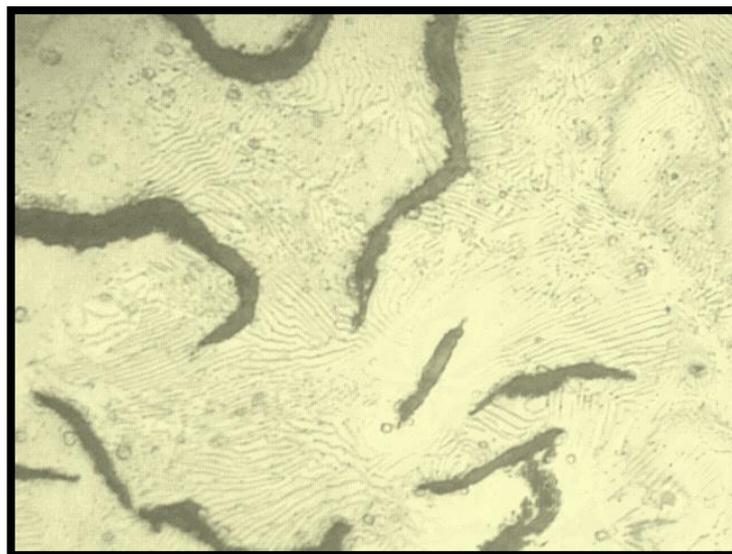
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	20.6°C	Radiación:	0.2 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

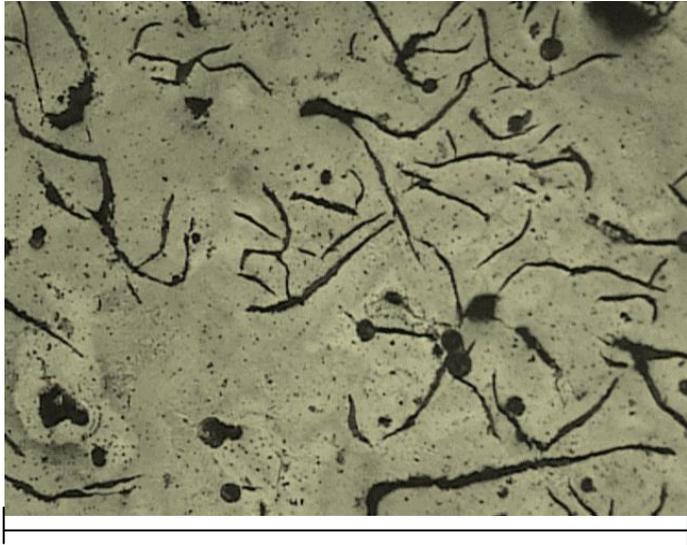
RESULTADO:

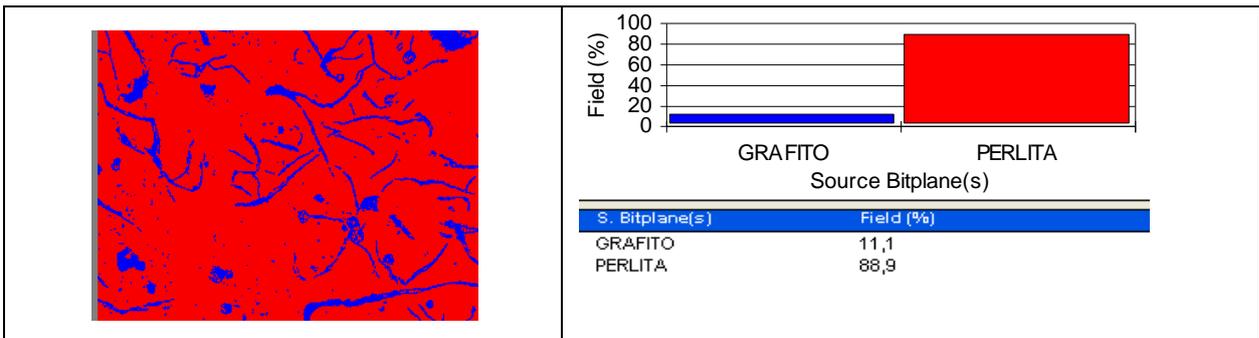
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400 X)



HIERRO FUNDIDO GRIS 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos:	 <p>720µm</p>
720µm → 10cm	
Lámina más grande: 4.5cm 720µm → 10cm	
X → 4.5cm X = 324µm	
Lámina mediana : 2.5cm 720µm → 10cm	
X → 2.5cm X = 180µm	
Lámina pequeña : 0.5cm 720µm → 10cm	
X → 0.5cm X = 36µm	
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada como viene de fábrica y utilizando un software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 324 µm y la más pequeña 36µm. Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 11.1% y 88.9% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 01		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	07/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	20.6°C	Radiación:	0.2 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.03 lo cual da 215 HB de dureza.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	02	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	08/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	20.6°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL UTILIZADO

				DETALLE REFERENCIAL
Especificación Material	Hierro Fundido	Tipo o grado:	Gris	
Diámetro:	3/4"	Dureza:	216HB	
Longitud:	0.3937"	Tratamiento Térmico:	Ninguno	
Características:	Eje			
OBSERVACIÓN:				
Hierro Fundido Gris como viene de la Fundidora sin ningún tratamiento térmico y con una dureza promedio de 216 HB.				



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 02	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	08/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

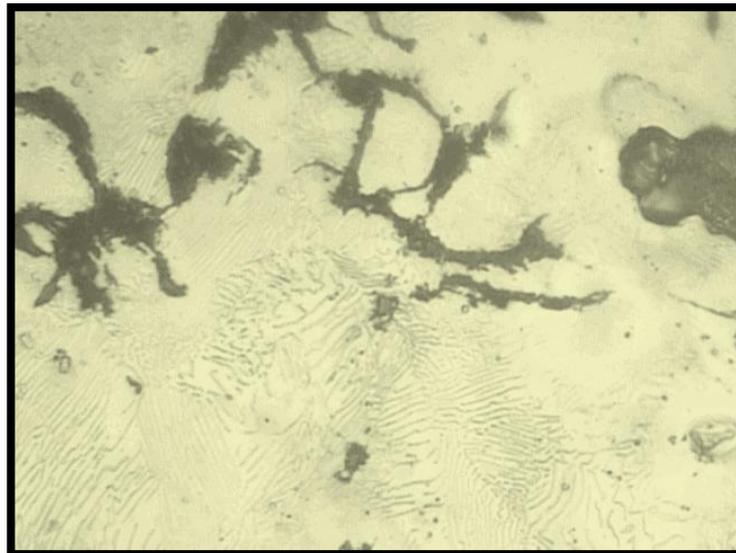
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.6°C	Radiación:	0.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

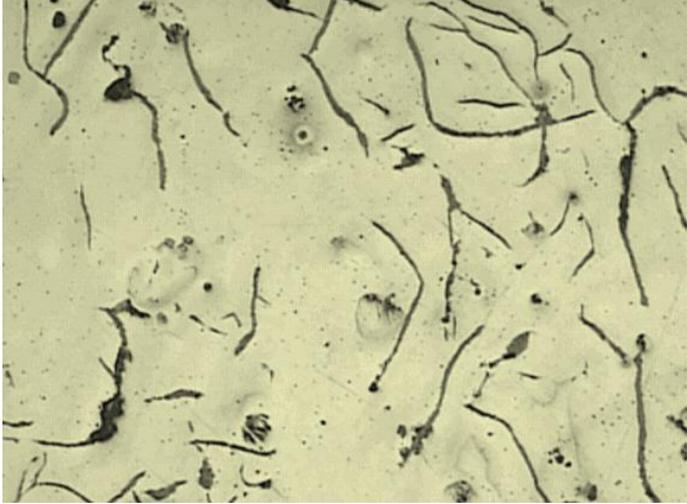
RESULTADO:

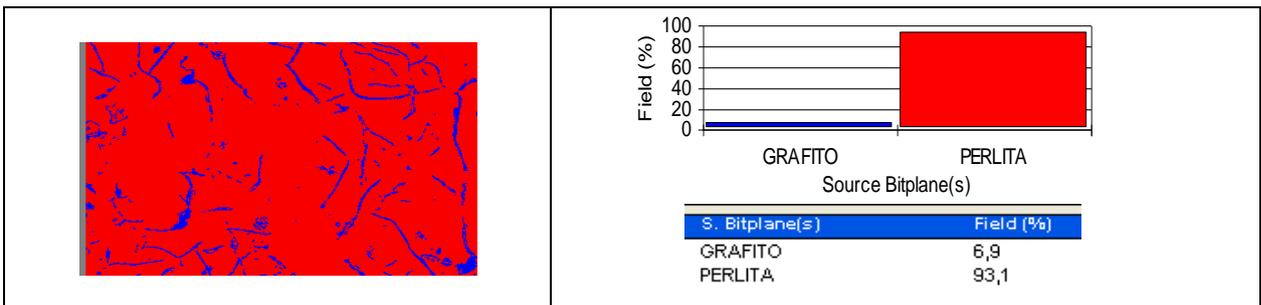
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400 X)



HIERRO FUNDIDO GRIS 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos:	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
720μm → 10cm	
Lámina más grande: 4cm 720μm → 10cm	
X → 4.cm X = 288μm	
Lámina mediana : 2.5cm 720μm → 10cm	
X → 2.5cm X = 180μm	
Lámina pequeña : 0.5cm 720μm → 10cm	
X → 0.5cm X = 36μm	
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada como viene de fábrica y utilizando software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 288 μm y la más pequeña 36μm. Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 6.9% y 93.1% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 02		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	08/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.6°C	Radiación:	0.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.025 lo cual da 217 HB de dureza.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	03	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	09/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	20.6°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL UTILIZADO

				DETALLE REFERENCIAL
Especificación Material	Hierro Fundido	Tipo o grado:	Gris	
Diámetro:	3/4"	Dureza:	216HB	
Longitud:	0.3937"	Tratamiento Térmico:	Ninguno	
Características:	Eje			
OBSERVACIÓN:				
Hierro Fundido Gris como viene de la Fundidora sin ningún tratamiento térmico y con una dureza promedio de 216 HB.				



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 03	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	09/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

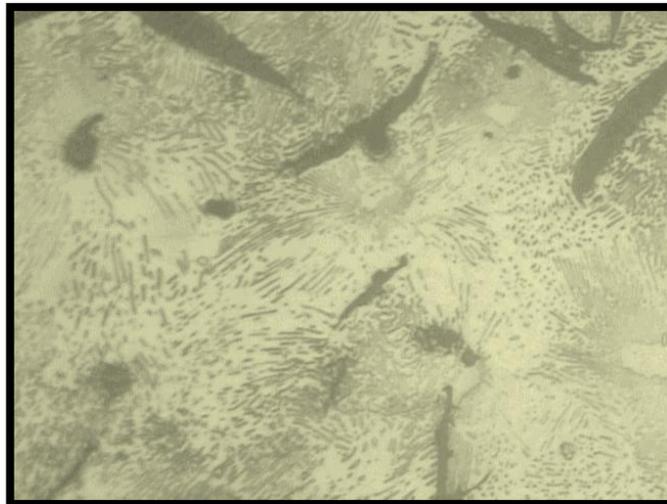
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

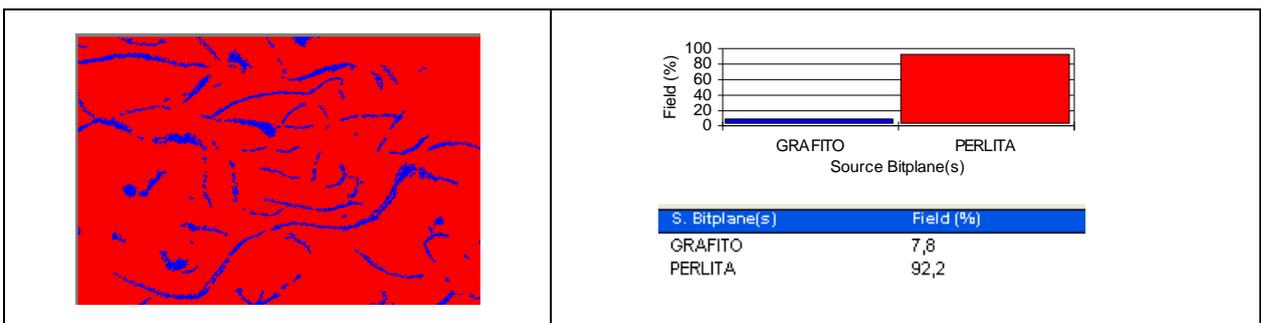
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400 X)



HIERRO FUNDIDO GRIS 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos: $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ Lámina más grande: 5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 5\text{cm}$ $X = 360\mu\text{m}$ Lámina mediana : 2.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 2.5\text{cm}$ $X = 180\mu\text{m}$ Lámina pequeña : 0.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 0.5\text{cm}$ $X = 36\mu\text{m}$	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada como viene de fábrica y utilizando software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 360 μm y la más pequeña 36 μm . Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 7.8% y 92.2% respectivamente.

3/4



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 03		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	09/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

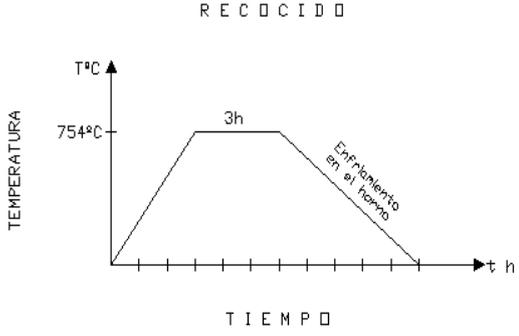
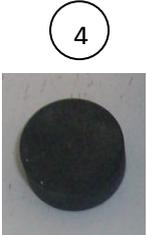
Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.03 lo cual da 215 HB de dureza.

4.2.2 EVALUACIÓN DE LAS PROBETAS DE HIERRO FUNDIDO GRIS UTILIZANDO DIFERENTES TIEMPOS DE PERMANENCIA EN EL RECOCIDO.

- **HIERRO FUNDIDO GRIS RECOCIDO DURANTE 3 HORAS**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
PROBETA N°	04	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	10/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	3h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0.3937"				
Características:	Eje				
					

1/4



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 04	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	10/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

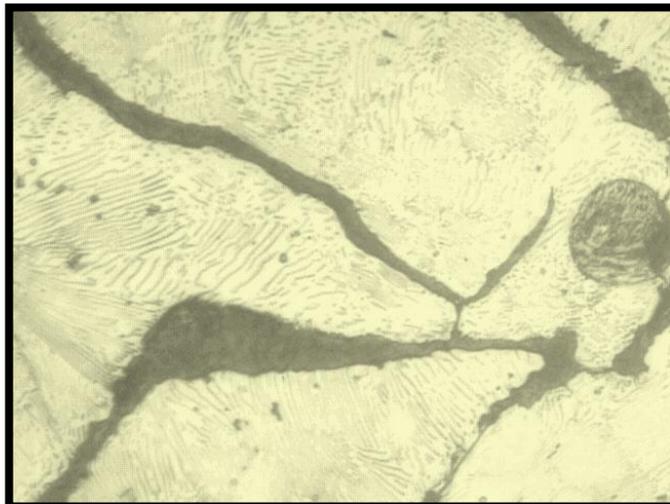
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

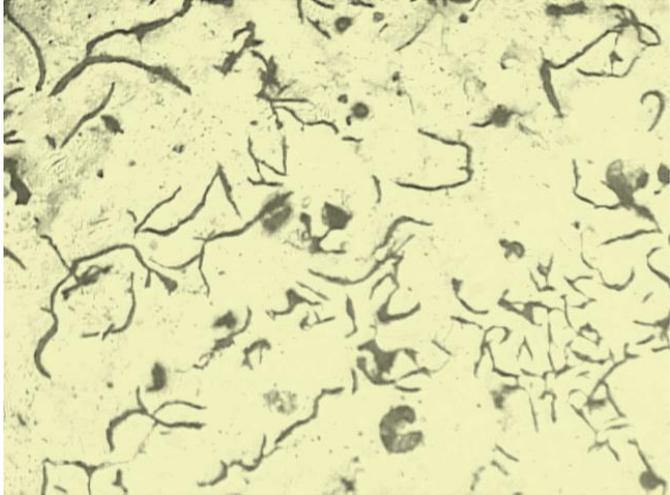
RESULTADO:

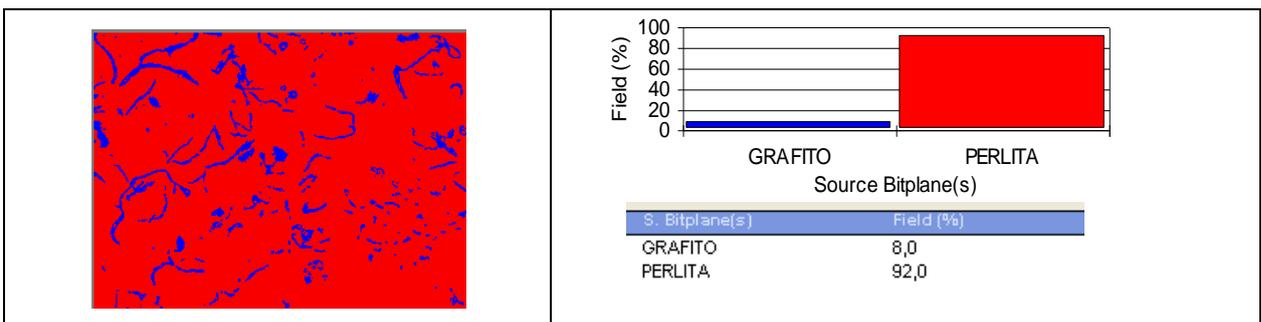
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE 3h (400_X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 3h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos:	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
720 μ m \rightarrow 10cm	
Lámina más grande: 2.5cm 720 μ m \rightarrow 10cm	
X \rightarrow 2.5cm X = 180 μ m	
Lámina mediana : 1.5cm 720 μ m \rightarrow 10cm	
X \rightarrow 1.5cm X = 108 μ m	
Lámina pequeña : 0.4cm 720 μ m \rightarrow 10cm	
X \rightarrow 0.4cm X = 28.8 μ m	
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada realizando el tratamiento térmico de recocido por 3 horas y utilizando software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 180 μ m y la más pequeña 28.8 μ m. Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 8% y 92% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 04	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	10/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.1775 lo cual da 162 HB de dureza.

4/4



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	05	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	13/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	3h			<p align="center">DETALLE REFERENCIAL</p>	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0,3937"				
Características:	Eje				

1/4



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 05	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	13/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

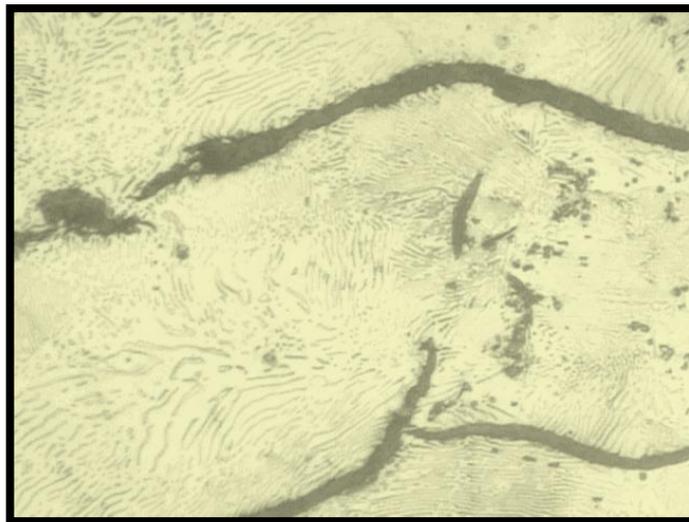
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

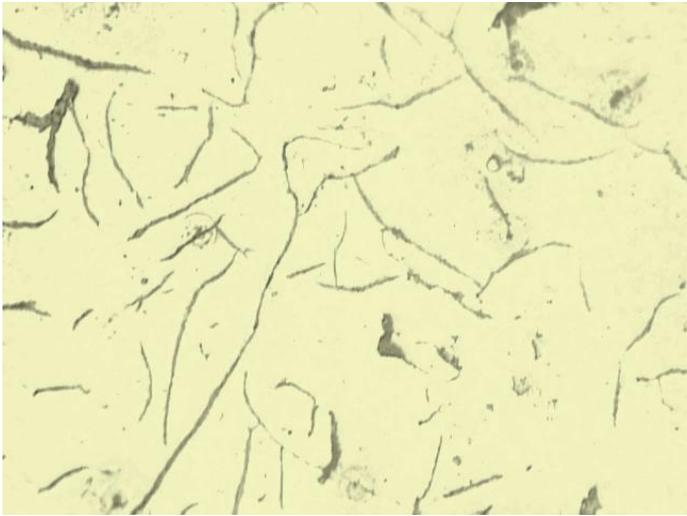
RESULTADO:

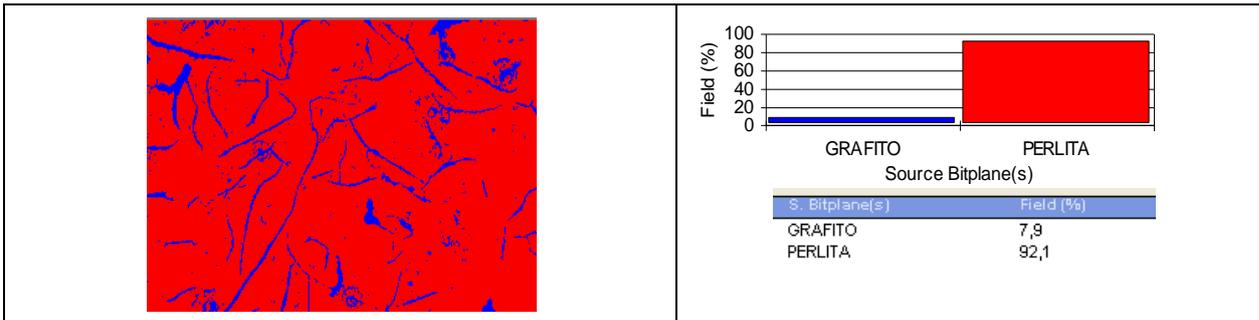
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE
 3h
 (400_X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 3h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos:	 <p style="text-align: center;">720µm</p>
720µm → 10cm	
Lámina más grande: 6cm 720µm → 10cm	
X → 6cm X = 432µm	
Lámina mediana : 2.5cm 720µm → 10cm	
X → 2.5cm X = 180µm	
Lámina pequeña : 0.5cm 720µm → 10cm	
X → 0.5cm X = 36µm	
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada realizando el tratamiento térmico de recocido por 3 horas y utilizando software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 432µm y la más pequeña 36µm.. Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 7.9% y 92.1% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 05		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	13/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.175 lo cual da 163 HB de dureza.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	06	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		14/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	3h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0,3937"				
Características:	Eje				

1/4



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 06	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	14/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

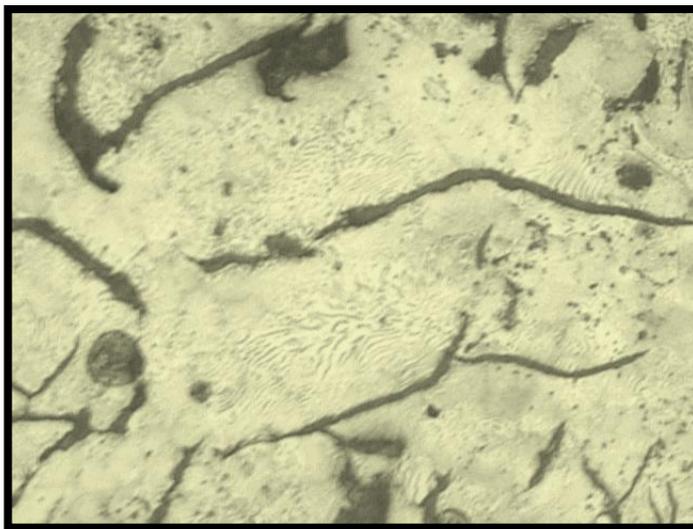
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

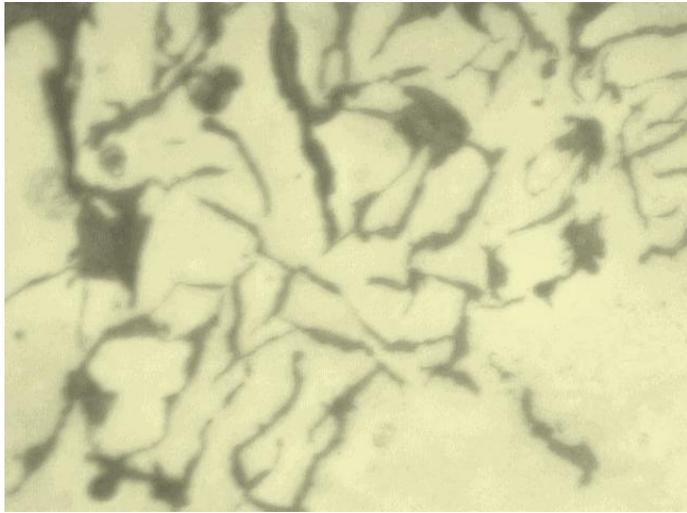
RESULTADO:

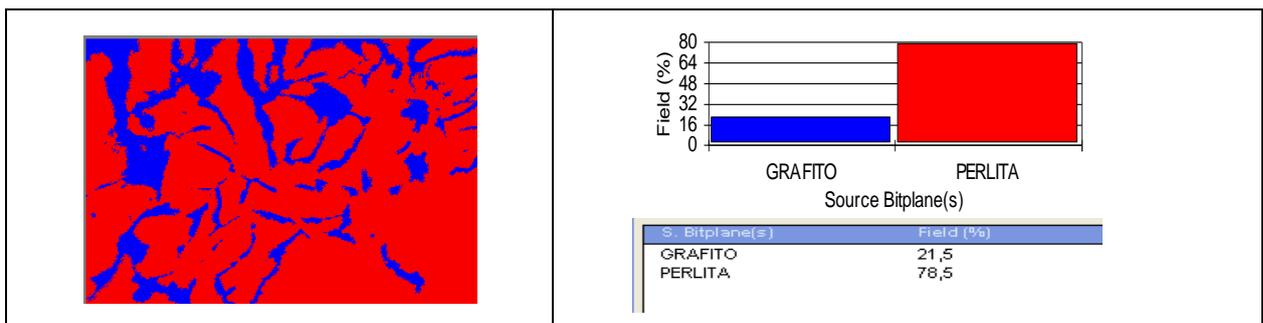
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE 3h (400_X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 3h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos: $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ Lámina más grande: 4.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 4.5\text{cm}$ $X = 324\mu\text{m}$ Lámina mediana : 2.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 2.5\text{cm}$ $X = 180\mu\text{m}$ Lámina pequeña : 0.9cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 0.9\text{cm}$ $X = 64.8\mu\text{m}$	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada realizando el tratamiento térmico de recocido por 3 horas y utilizando un software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 324 μm y la más pequeña 64.8 μm . Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 21.5% y 78.5% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 06		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	14/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

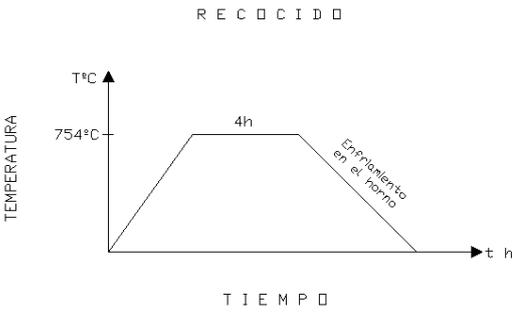
DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.185 lo cual da 160 HB de dureza.

• **HIERRO FUNDIDO GRIS RECOCIDO DURANTE 4 HORAS**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
PROBETA N°	07	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	15/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	4h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0.3937"				
Características:	Eje				
				1/4	



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 07	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	15/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

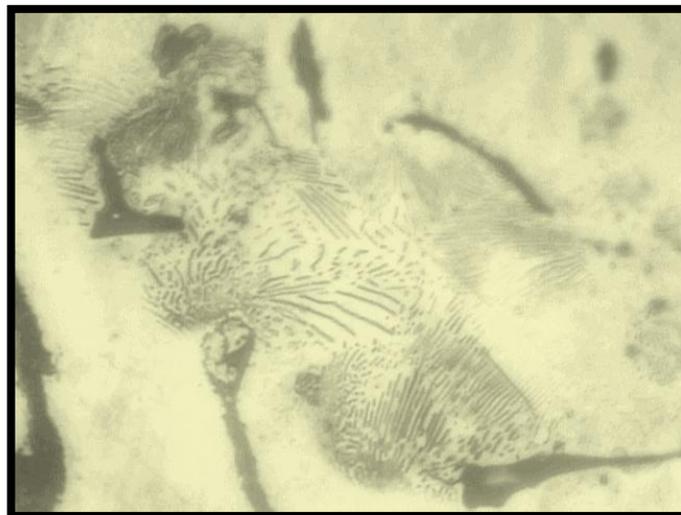
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

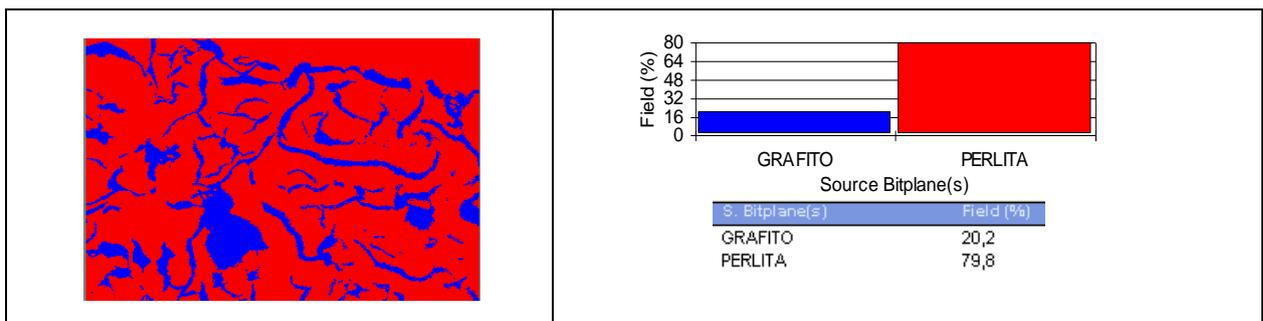
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE
 4h
 (400 X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 4h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos:	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
$720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$	
<p> Lámina más grande: 5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 5\text{cm}$ $X = 360\mu\text{m}$ Lámina mediana : 3cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 3\text{cm}$ $X = 216\mu\text{m}$ Lámina pequeña : 0.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 0.5\text{cm}$ $X = 36\mu\text{m}$ </p>	
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada realizando el tratamiento térmico de recocido por 4 horas y utilizando un software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 360 μ m y la más pequeña 36 μ m. Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 20.2% y 79.8% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 07		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	15/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.2550 lo cual da 141 HB de dureza.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	08	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	16/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	4h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0.3937"				
Características:	Eje				

1/4



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 08	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

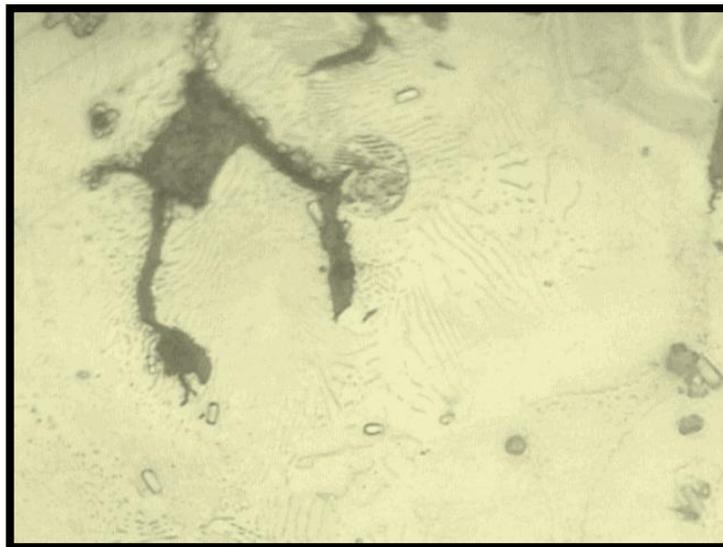
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

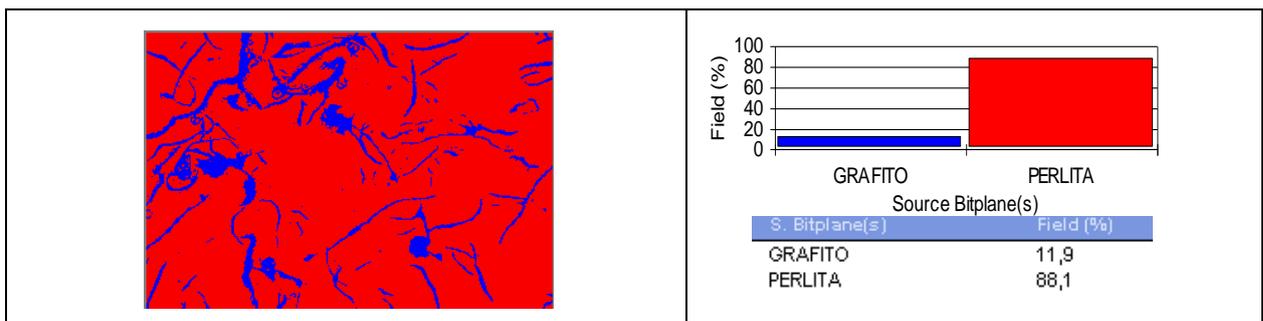
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE
 4h
 (400 X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 4h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos: $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ Lámina más grande: 4cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 4\text{cm}$ $X = 288\mu\text{m}$ Lámina mediana : 3cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 3\text{cm}$ $X = 216\mu\text{m}$ Lámina pequeña : 0.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 0.5\text{cm}$ $X = 36\mu\text{m}$	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada realizando el tratamiento térmico de recocido por 4 horas y utilizando un software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 288 μm y la más pequeña 36 μm . Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 11.9% y 88.1% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 08		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.26 lo cual da 140 HB de dureza.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	09	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	17/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	4h			<p align="center">DETALLE REFERENCIAL</p>	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0.3937"				
Características:	Eje				

1/4



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 09	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	17/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

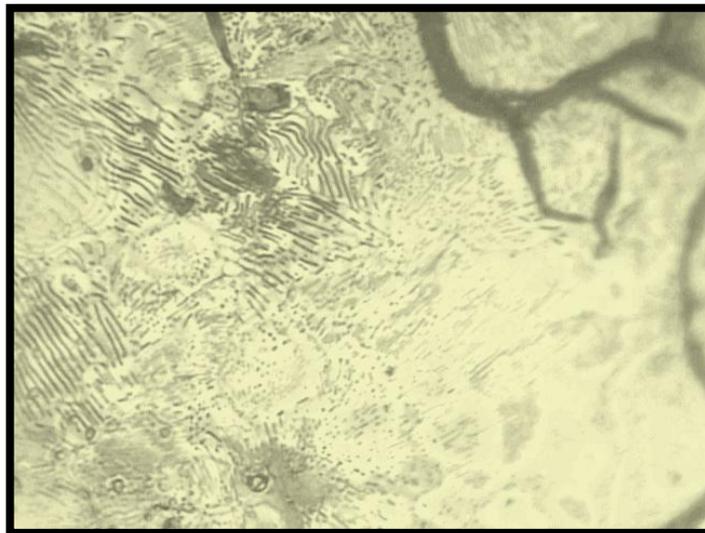
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

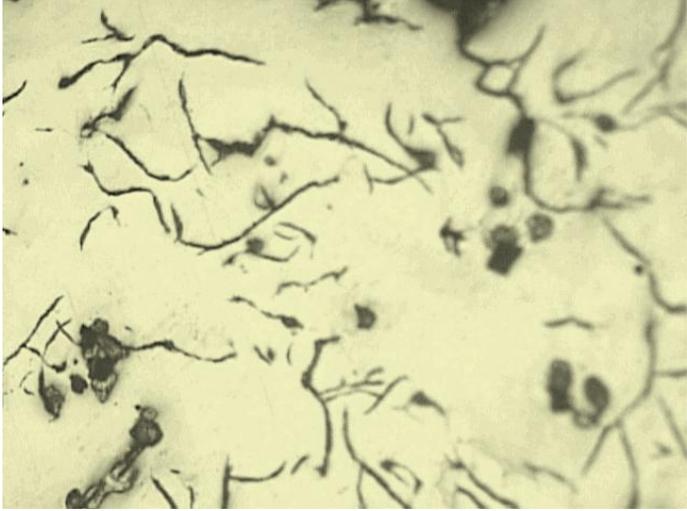
RESULTADO:

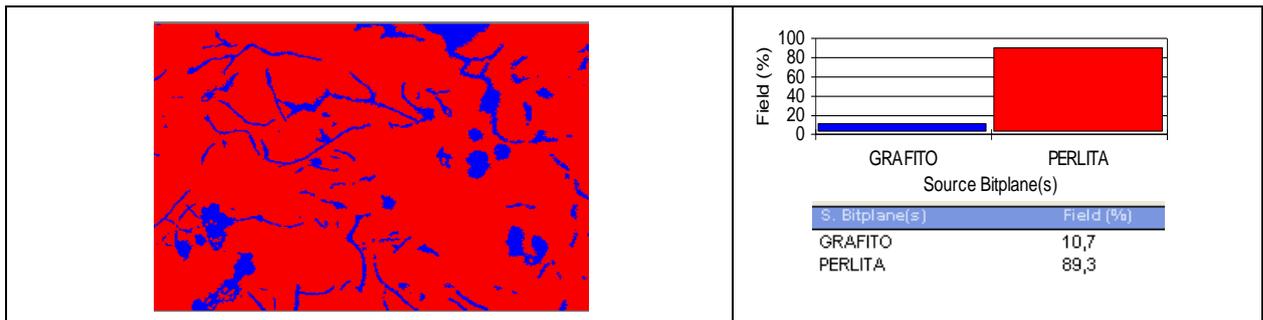
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE
 4h
 (400 X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 4h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos: $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ Lámina más grande: 3.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 3.5\text{cm}$ $X = 252\mu\text{m}$ Lámina mediana : 2.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 2.5\text{cm}$ $X = 180\mu\text{m}$ Lámina pequeña : 0.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 0.5\text{cm}$ $X = 36\mu\text{m}$	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada realizando el tratamiento térmico de recocido por 4 horas y utilizando un software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 252 μm y la más pequeña 36 μm . Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 10.7% y 89.3% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 09		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	17/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

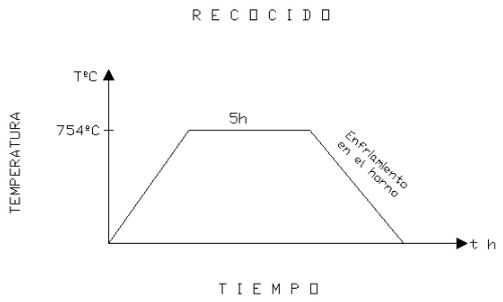
DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.26 lo cual da 140 HB de dureza.

• **HIERRO FUNDIDO GRIS RECOCIDO DURANTE 5 HORAS**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
PROBETA N°	10	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	20/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	5h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0.3937"				
Características:	Eje				
					

1/4



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 10	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	20/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

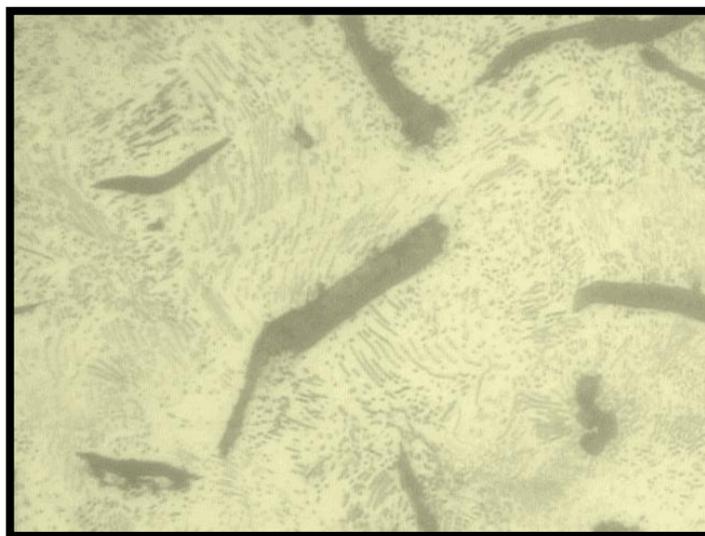
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

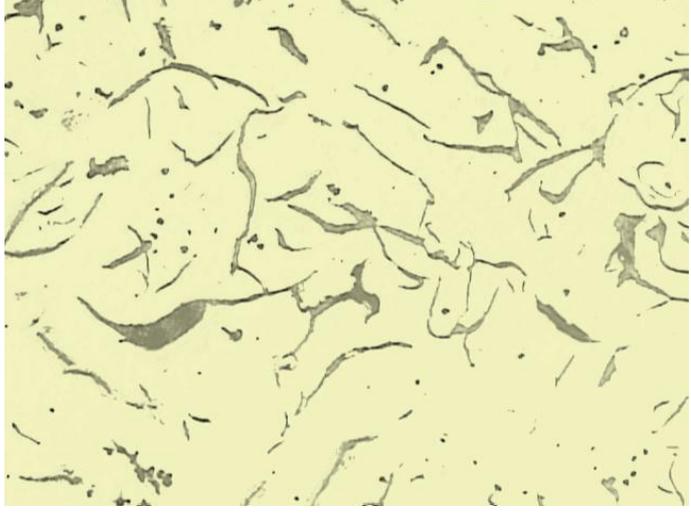
RESULTADO:

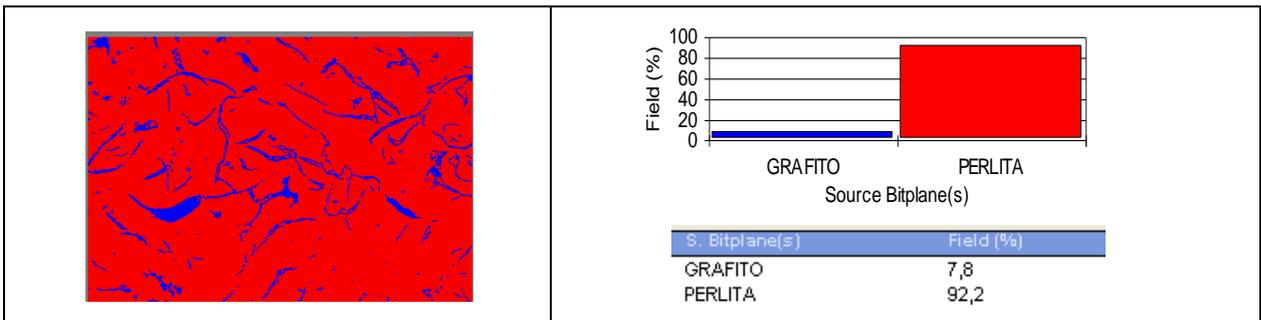
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE
5h
(400 X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 5h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos: $720\mu m \rightarrow 10cm$ Lámina más grande: 3.5cm $720\mu m \rightarrow 10cm$ $X \rightarrow 3.5cm$ $X = 252\mu m$ Lámina mediana : 2cm $720\mu m \rightarrow 10cm$ $X \rightarrow 2cm$ $X = 144\mu m$ Lámina pequeña : 0.4cm $720\mu m \rightarrow 10cm$ $X \rightarrow 0.4cm$ $X = 28.8\mu m$	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada realizando el tratamiento térmico de recocido por 5 horas y utilizando un software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 252 μm y la más pequeña 28.8 μm . Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 7.8% y 92.2% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 10		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	20/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.34 lo cual da 123 HB de dureza.



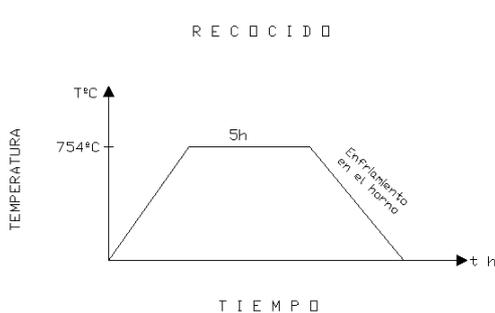
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	11	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	21/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	5h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0.3937"				
Características:	Eje 				

1/4



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 11	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	21/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

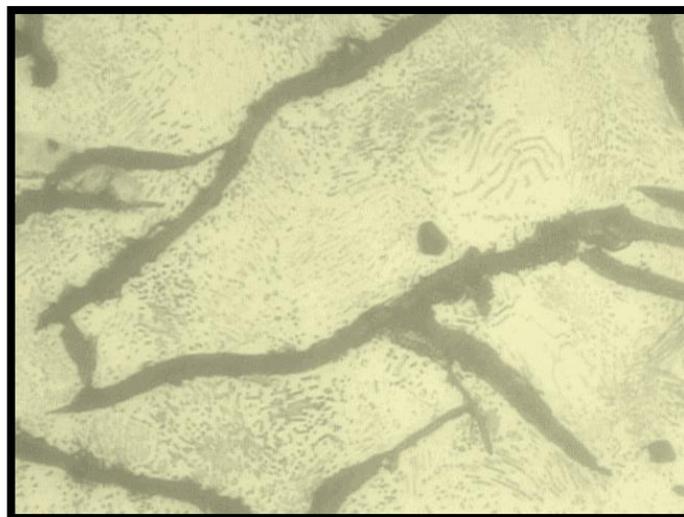
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

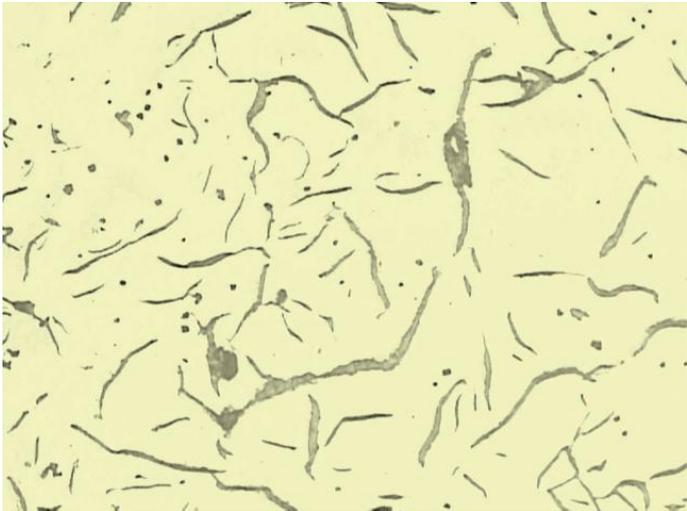
RESULTADO:

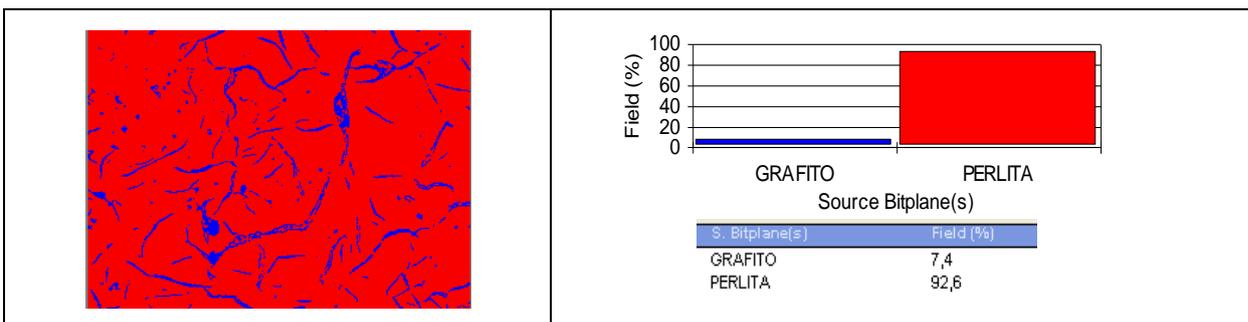
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE
5h
(400 X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 5h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos:	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
720 μ m \rightarrow 10cm	
Lámina más grande: 4cm 720 μ m \rightarrow 10cm	
X \rightarrow 3.8cm X = 273.6 μ m	
Lámina mediana : 2cm 720 μ m \rightarrow 10cm	
X \rightarrow 2cm X = 144 μ m	
Lámina pequeña : 0.3cm 720 μ m \rightarrow 10cm	
X \rightarrow 0.3cm X = 21.6 μ m	
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada realizando el tratamiento térmico de recocido por 5 horas y utilizando un software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 273.6 μ m y la más pequeña 21.6 μ m. Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 7.4% y 92.6% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:	Probeta N° 11		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	21/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales - FICM		
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.3275 lo cual da 125 HB de dureza.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PROBETA N°	12	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	22/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	5h			<p align="center">DETALLE REFERENCIAL</p> <p align="center">R E C O C I D O</p> <p align="center">T I E M P O</p>	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0.3937"				
Características:	Eje				

1/4



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 12	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

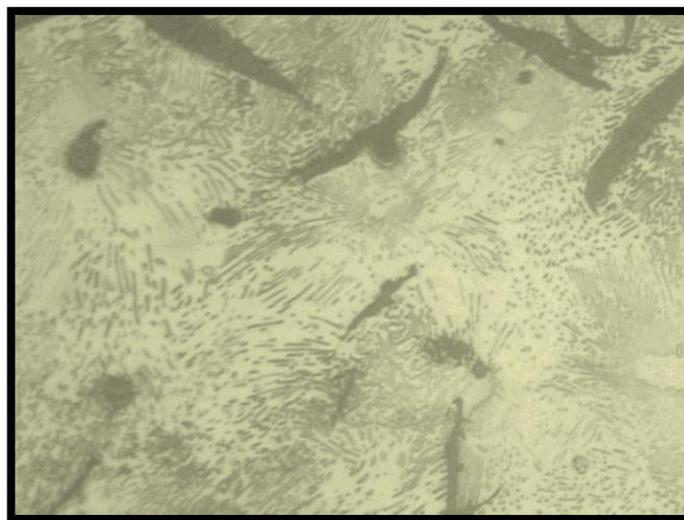
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

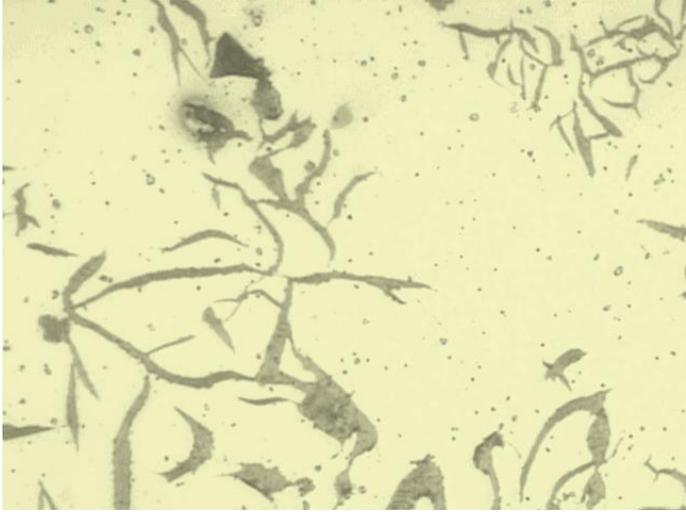
RESULTADO:

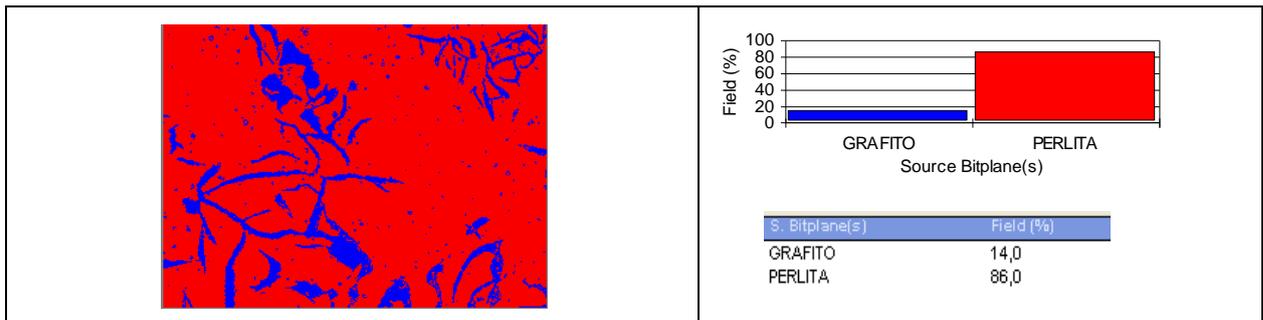
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE
5h
(400_X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 5h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos: $720\mu m \rightarrow 10cm$ Lámina más grande: 3.8cm $720\mu m \rightarrow 10cm$ $X \rightarrow 3.8cm$ $X = 273.6\mu m$ Lámina mediana : 2cm $720\mu m \rightarrow 10cm$ $X \rightarrow 2cm$ $X = 144\mu m$ Lámina pequeña : 0.4cm $720\mu m \rightarrow 10cm$ $X \rightarrow 0.4cm$ $X = 28.8\mu m$	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris realizando el tratamiento térmico de recocido por 5 horas y utilizando un software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 273.6 μm y la más pequeña 28.8 μm . Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 14% y 86% respectivamente.



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



ENSAYO DE DUREZA

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 12	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA

DESCRIPCIÓN:

Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min

RESULTADO: Diámetro de la marca 1.3475 lo cual da 121 HB de dureza.

4.2.3 EVALUACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS DE HIERRO FUNDIDO GRIS UTILIZANDO DIFERENTES TIEMPOS DE PERMANENCIA EN EL RECOCIDO.

- HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
Ensayo N° 03					
PROBETA N°	13	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		07/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático
ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL UTILIZADO					DETALLE REFERENCIAL
Especificación Material	Hierro Fundido	Tipo o grado:	Gris		
Diámetro:	3/4"	Dureza:	216HB		
Longitud:	5"	Tratamiento Térmico:	Ninguno		
Características:	Eje				
OBSERVACIÓN:					
Hierro Fundido Gris como viene de la Fundidora sin ningún tratamiento térmico y con una dureza promedio de 216 HB.					



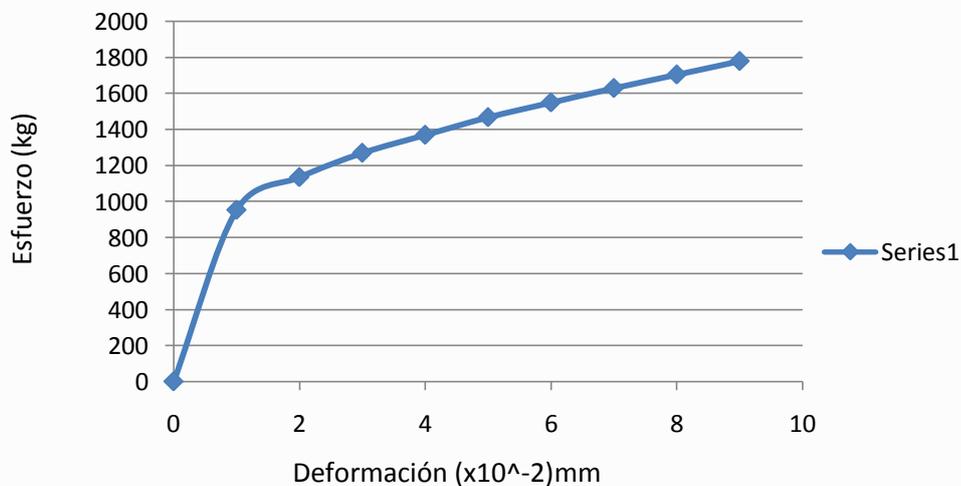
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 13	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	07/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1780 kg	Carga de Ruptura:	1780 kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS En estado Natural



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{127.3048 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 0.24\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 116.74}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 7.83\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad Sut = \frac{1780 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad Sut = 14.05 \text{kg} / \text{mm}^2$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 13	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	07/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

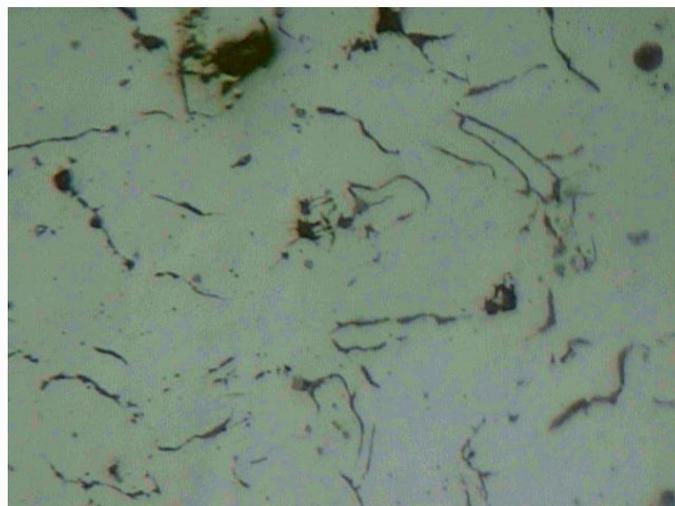
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400 X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSION

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Ensayo N° 03

PROBETA N°	14	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	08/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL UTILIZADO

				DETALLE REFERENCIAL
Especificación Material	Hierro Fundido	Tipo o grado:	Gris	
Diámetro:	3/4"	Dureza:	216HB	
Longitud:	5"	Tratamiento Térmico:	Ninguno	
Características:	Eje			

OBSERVACIÓN:

Hierro Fundido Gris como viene de la Fundidora sin ningún tratamiento térmico y con una dureza promedio de 216 HB.

1/3



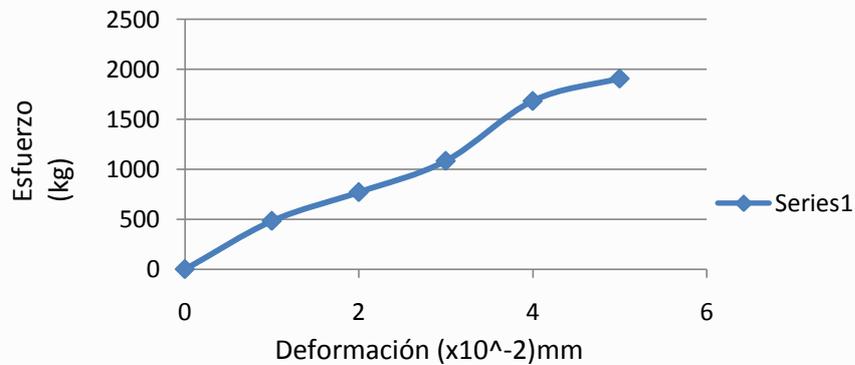
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 14	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	08/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1909kg	Carga de Ruptura:	1909 kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS En estado Natural



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{129.286 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 1.8\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 107.22}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 15.35\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{1909kg}{126.67mm^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 15.07kg / mm^2$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 14	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	08/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

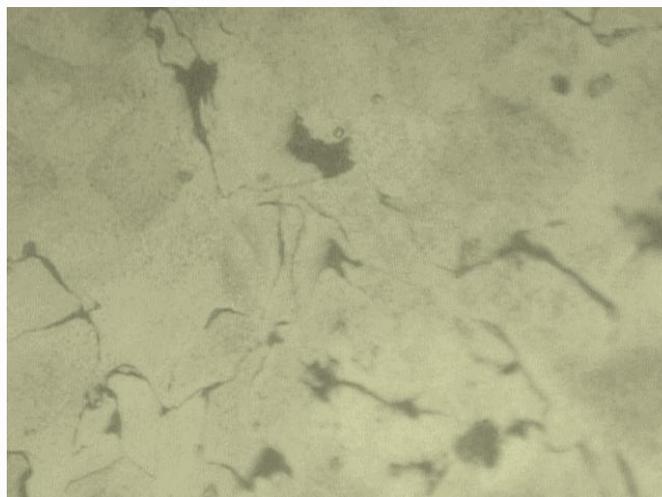
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSION

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

Ensayo N° 03

PROBETA N°	15	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	09/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL UTILIZADO

				DETALLE REFERENCIAL
Especificación Material	Hierro Fundido	Tipo o grado:	Gris	
Diámetro:	3/4"	Dureza:	216HB	
Longitud:	5"	Tratamiento Térmico:	Ninguno	
Características:	Eje			

OBSERVACIÓN:

Hierro Fundido Gris como viene de la Fundidora sin ningún tratamiento térmico y con una dureza promedio de 216 HB.

1/3



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



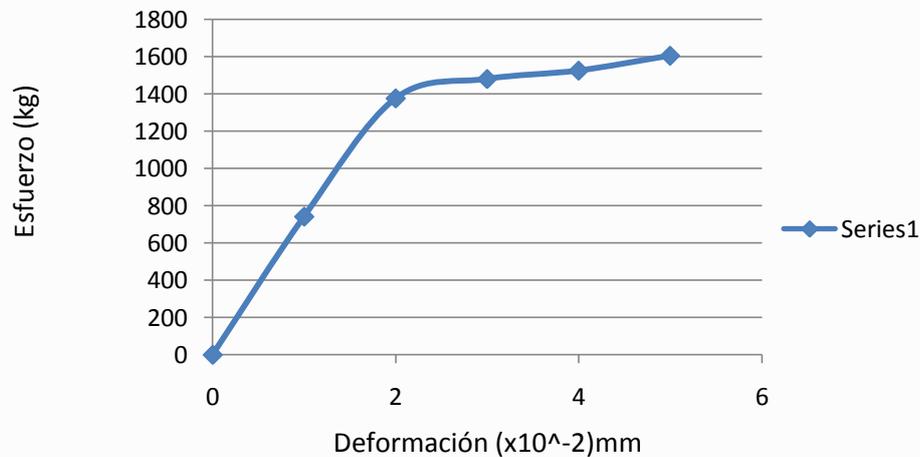
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 15	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	09/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1606kg	Carga de Ruptura:	1606 kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS En estado Natural



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{129.54 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 2\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 111.93}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 11.63\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{1606 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 12.68 \text{kg} / \text{mm}^2 \quad 2/3$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 15	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	09/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

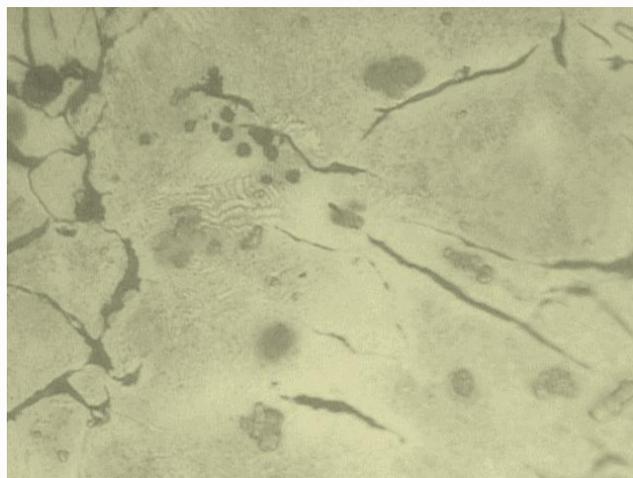
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSION

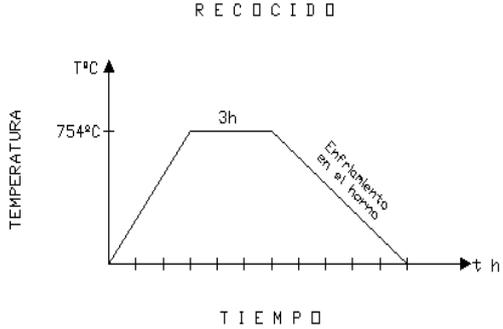
ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.

• **HIERRO FUNDIDO GRIS RECOCIDO DURANTE 3 HORAS**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
ENSAYO 03					
PROBETA N°	16	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		10/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático
ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	3h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	5"				
Características:	Eje				
				1/3	



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



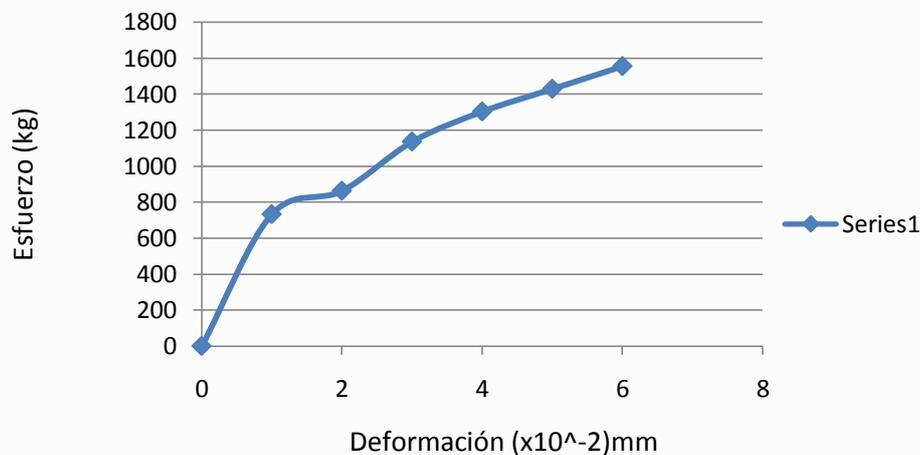
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 16	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	10/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1554 kg	Carga de Ruptura:	1554 kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 3h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{129.8448 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 2.24\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 102.61}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 18.99\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{1554 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 12.268 \text{kg} / \text{mm}^2 \quad 2/3$$



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 16	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	10/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

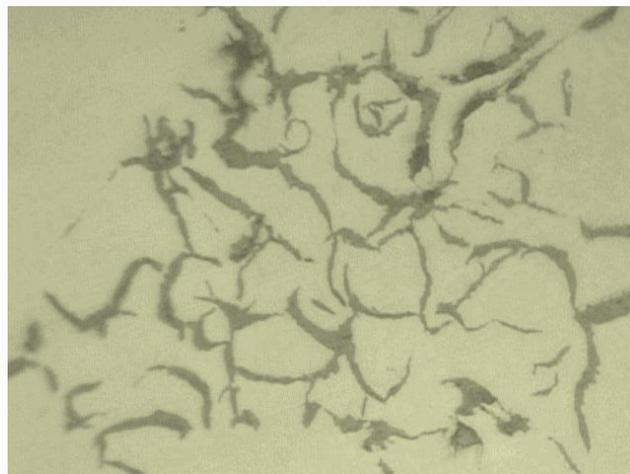
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 03

PROBETA N°	17	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	13/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	3h			<p align="center">DETALLE REFERENCIAL</p>	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	5"				
Características:	Eje				
				1/3	



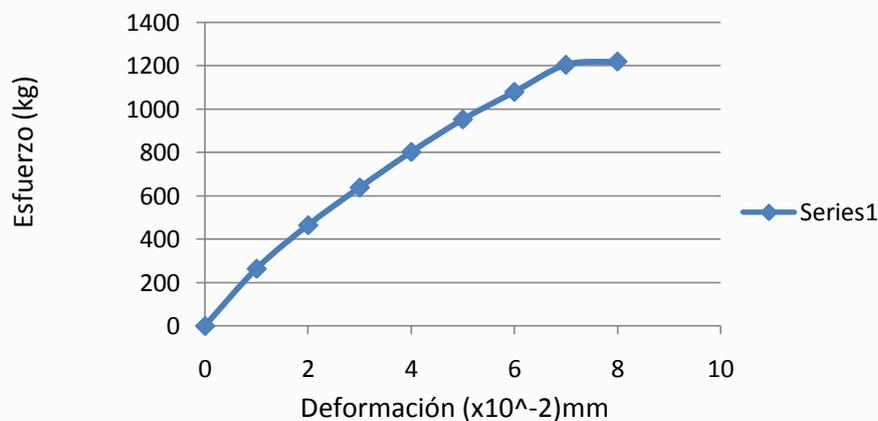
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 17	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	13/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1220 kg	Carga de Ruptura:	1220kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 3h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{129.921 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 2.3\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 88.958}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 29.77\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{1220 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 9.63 \text{kg/mm}^2 \quad 2/3$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 17	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	13/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

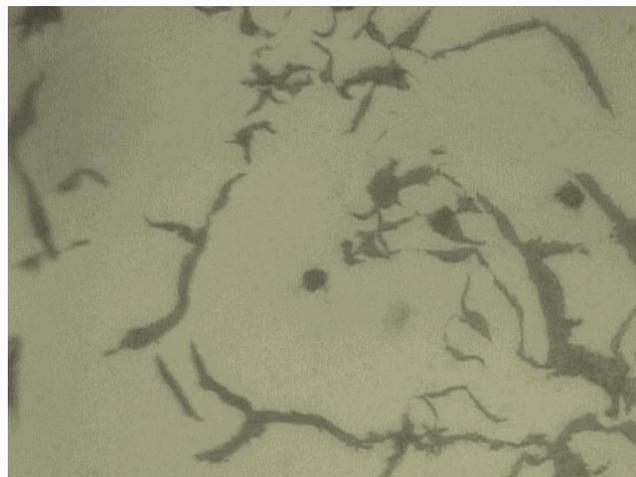
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.



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

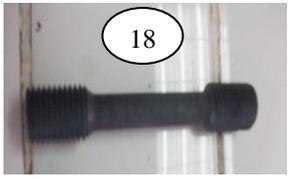
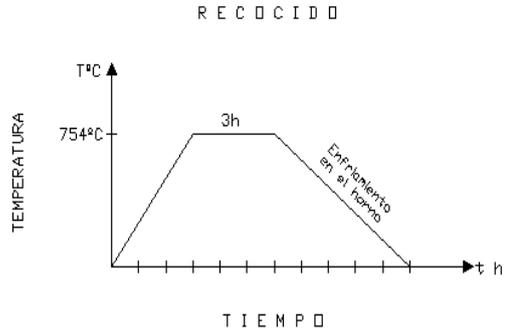


REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 03

PROBETA N°	18	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:	14/06/2011	
Temperatura ambiente del lugar:	21°C		Flujo de aire del medio:	Estático	

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	3h			DETALLE REFERENCIAL	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	5"				
Características:	Eje				
					
				1/3	



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



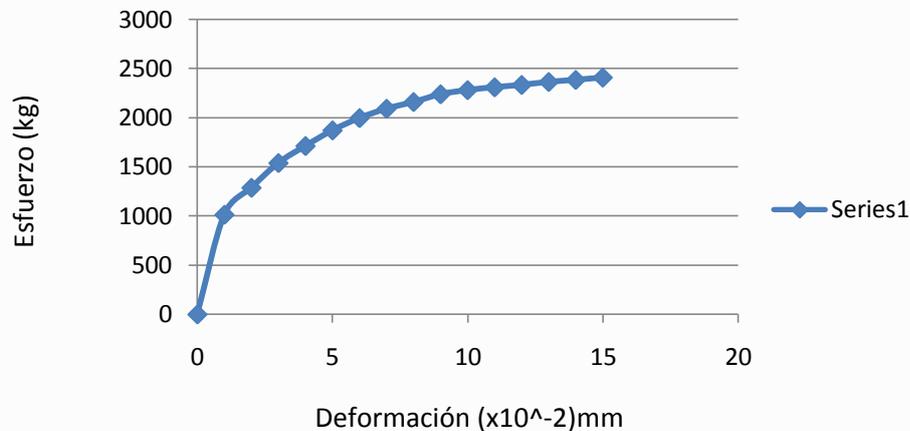
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSION

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 18	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	14/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	2408 kg	Carga de Ruptura:	2408kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 3h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{132.08 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 4\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 114.325}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 9.745\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{2408 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 19.01 \text{kg} / \text{mm}^2$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 18	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	14/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

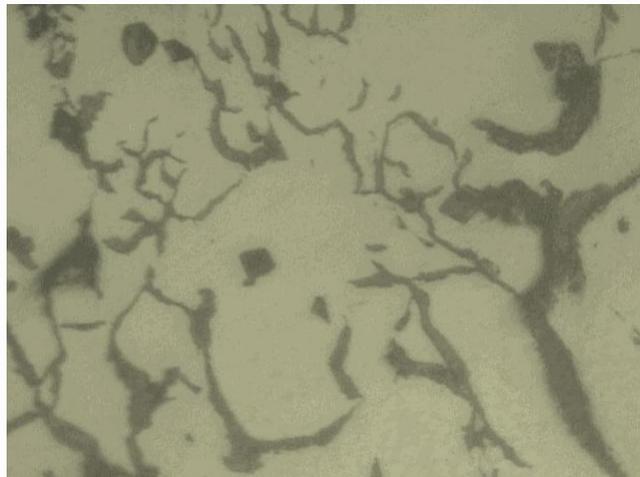
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL

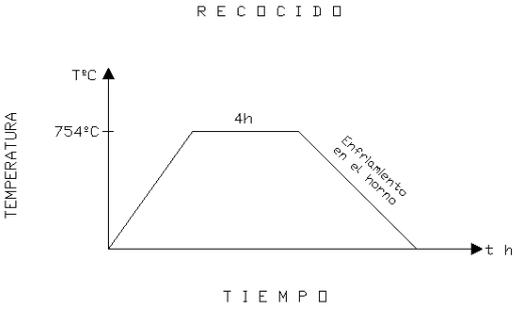


Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.

- **HIERRO FUNDIDO GRIS RECOCIDO DURANTE 4 HORAS**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
ENSAYO 03					
PROBETA N°	19	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		15/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	4h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	5"				
Características:	Eje				
				1/3	



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



PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 19	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	15/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	2134kg	Carga de Ruptura:	2134kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 4h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{127.28194 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 0.222\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 87.688}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 30.77\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad Sut = \frac{2134kg}{126.67mm^2} \quad \rightarrow \quad Sut = 16.846kg / mm^2 \quad 2/3$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 19	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	15/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

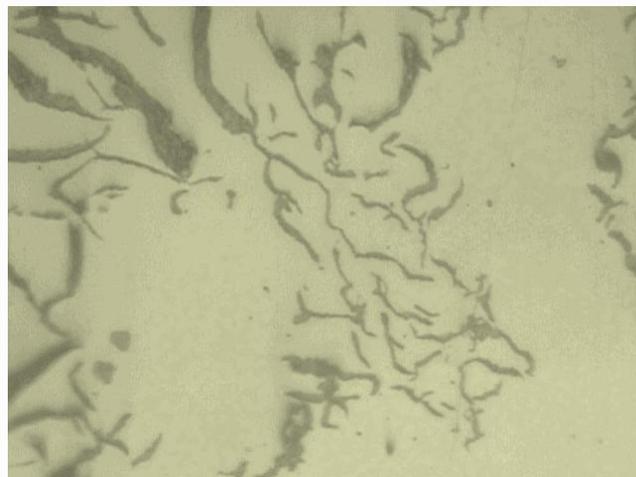
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400 X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.



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

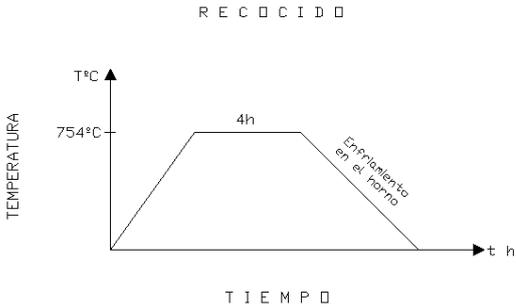


REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 03

PROBETA N°	20	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		16/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	4h			DETALLE REFERENCIAL	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	5"				
Características:	Eje				
					
	1/3				



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



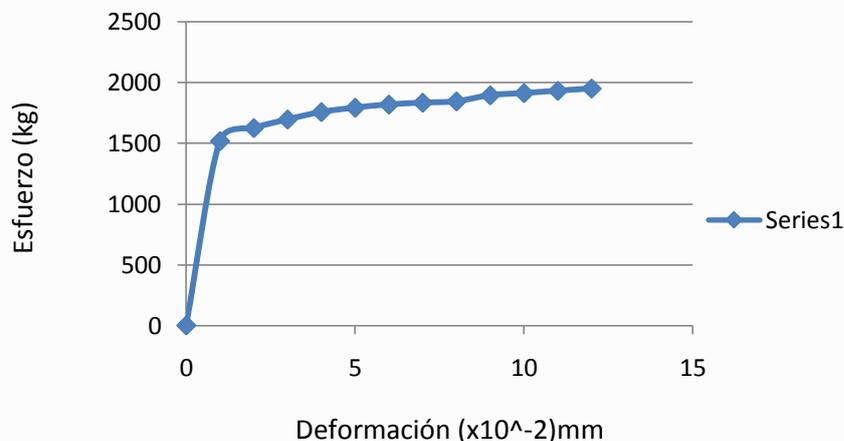
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 20	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	16/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1952kg	Carga de Ruptura:	1952kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 4h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{127.30226 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 0.238\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 114.325}{126.67} * 100$$

$$\% \text{reducción} = 9.745\%$$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{1952 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 15.41 \text{kg} / \text{mm}^2 \quad 2/3$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 20	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

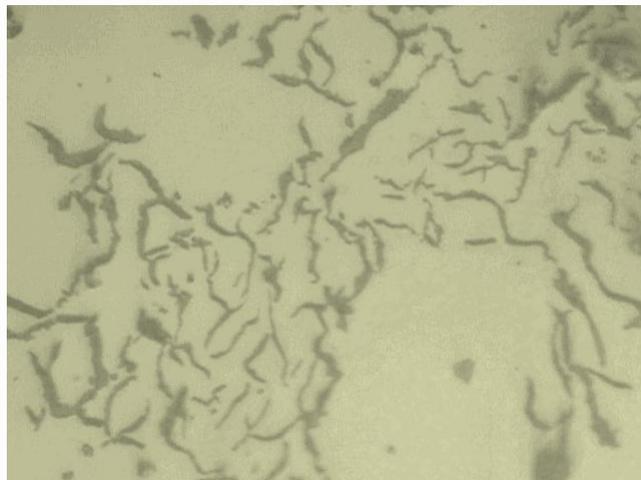
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.



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

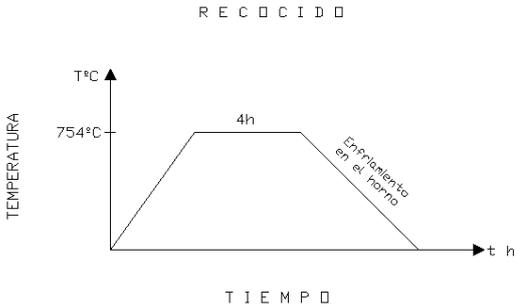


REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 03

PROBETA N°	21	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		17/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	4h			DETALLE REFERENCIAL	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	5"				
Características:	Eje				
					
	1/3				



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



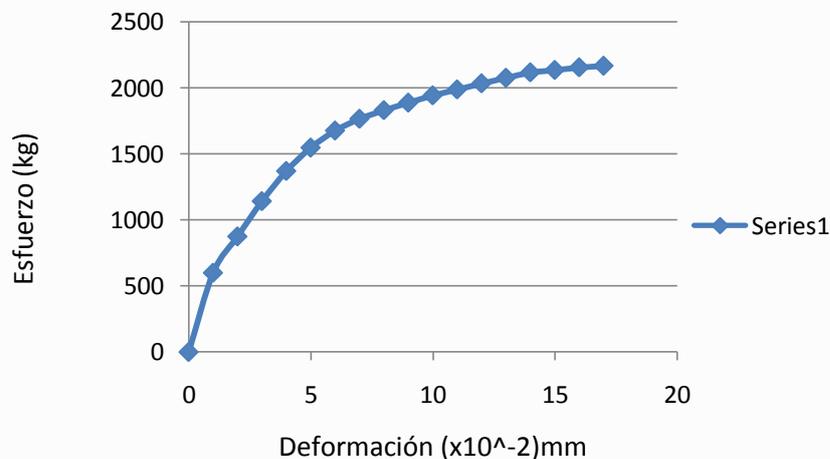
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 21	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	17/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	2165kg	Carga de Ruptura:	2165kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 4h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{127.30988 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 0.244\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 114.325}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 9.745\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{2175 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 17.17 \text{kg} / \text{mm}^2 \quad 2/3$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 21	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	17/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

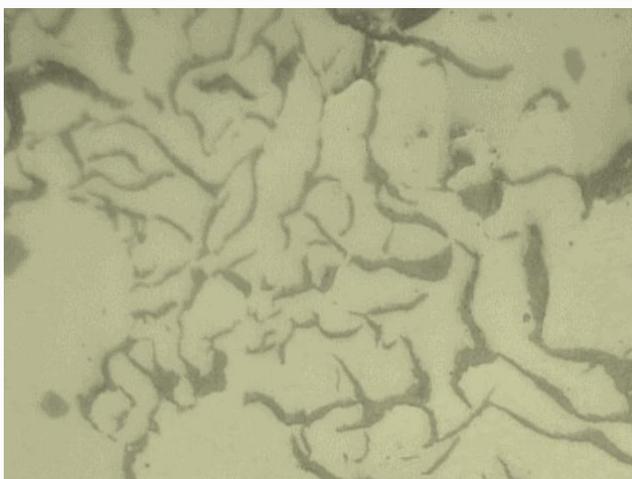
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

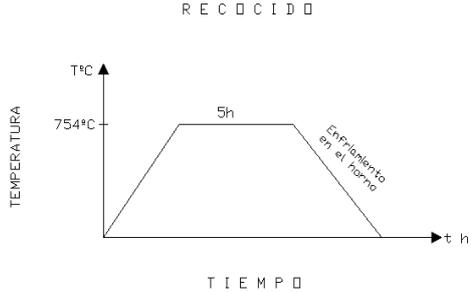
ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.

- **HIERRO FUNDIDO GRIS RECOCIDO DURANTE 5 HORAS**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS							
ENSAYO 03							
PROBETA N°	22	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes		
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		20/06/2011		
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático		
ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO							
Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	750°C		
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno				
Tiempo de permanencia Horno:	5h			DETALLE REFERENCIAL 			
Especificación Material	Hierro Fundido						
Tipo o grado:	Gris						
Diámetro:	3/4"						
Longitud:	5"						
Características:	Eje						
				1/3			



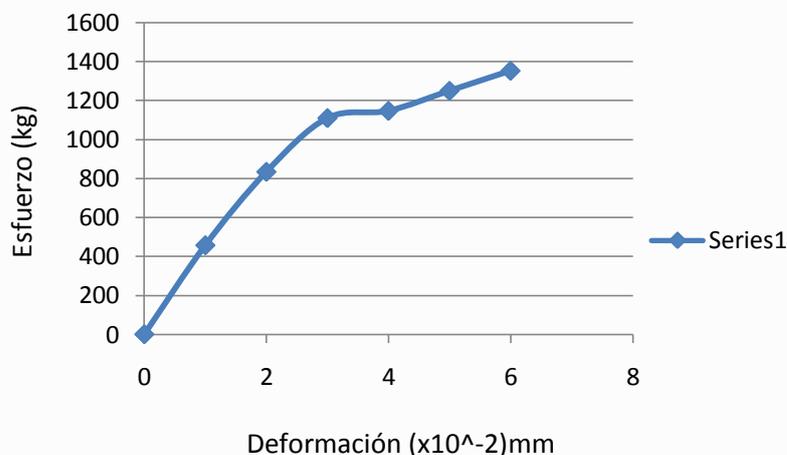
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 22	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	20/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1353kg	Carga de Ruptura:	1353kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 5h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{127.2794 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 0.22\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 88.958}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 29.77\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{1353\text{kg}}{126.67\text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 10.68\text{kg} / \text{mm}^2 \quad 2/3$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 22	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	20/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

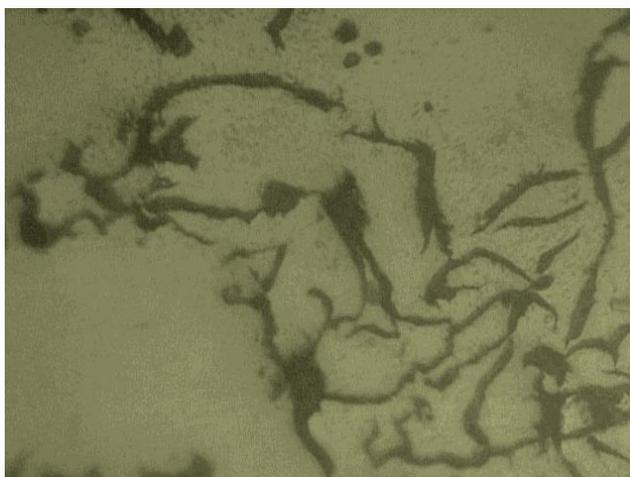
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.



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



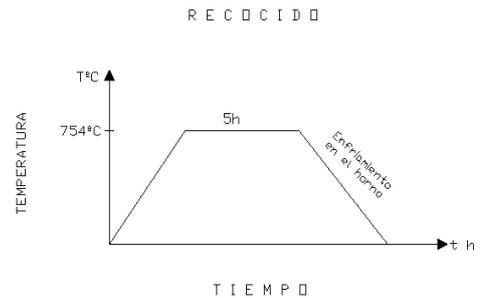
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 03

PROBETA N°	23	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		21/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	750°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	5h			DETALLE REFERENCIAL	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	5"				
Características:	Eje				



1/3



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



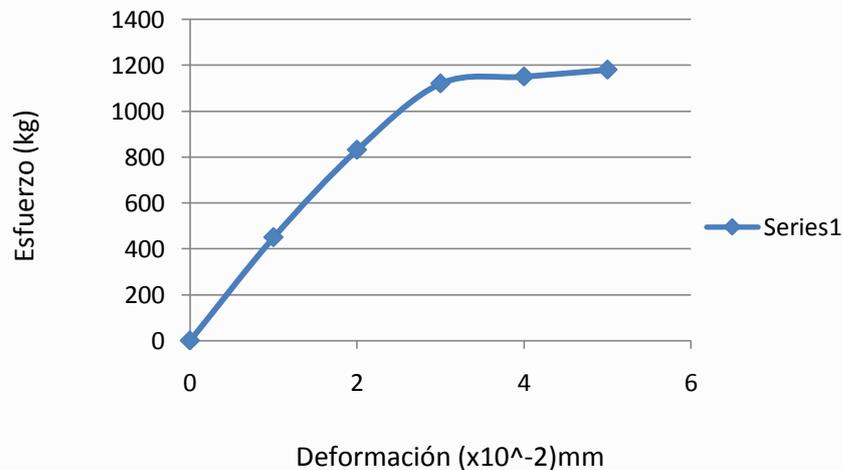
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 23	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	21/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1964kg	Carga de Ruptura:	1964kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 5h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{127.2921 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 0.23\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 91.524}{126.67} * 100$$

$\% \text{reducción} = 27.746\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{1964\text{kg}}{126.67\text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 15.50\text{kg} / \text{mm}^2 \quad 2/3$$



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 23	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	21/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

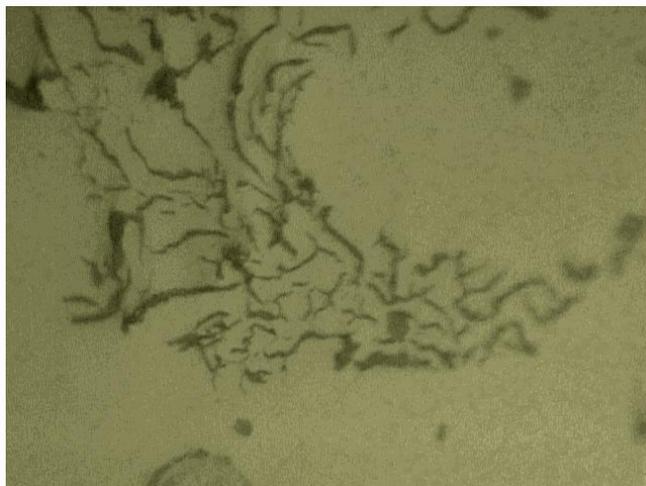
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400 X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.



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

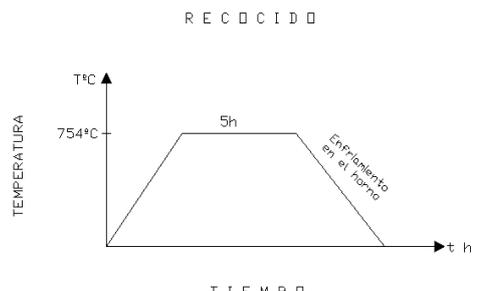


REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 03

PROBETA N°	24	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		22/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	750°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	5h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	5"				
Características:	Eje				
				1/3	



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



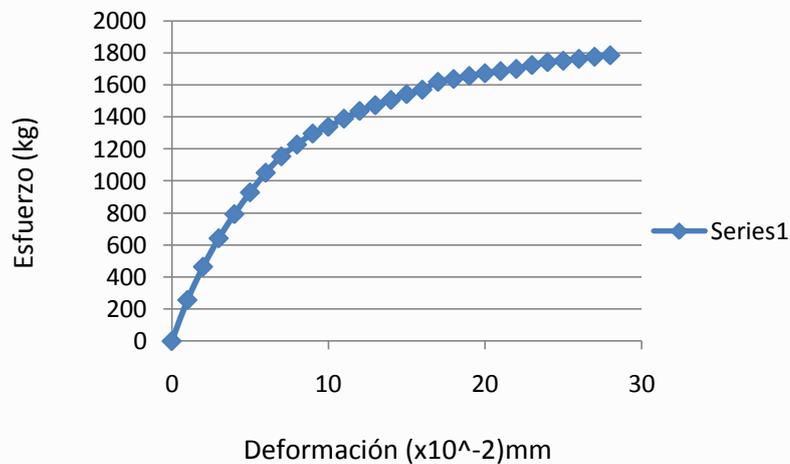
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSION

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 24	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	22/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1787kg	Carga de Ruptura:	1787kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 5h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{128.905 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 1.5\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\%reducción = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \%reducción = \frac{126.67 - 107.219}{126.67} * 100$$

$\%reducción = 15.355\%$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$Sut = \frac{P_{max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad Sut = \frac{1787kg}{126.67mm^2} \quad \rightarrow \quad Sut = 14.107kg / mm^2 \quad 2/3$$



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 24	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

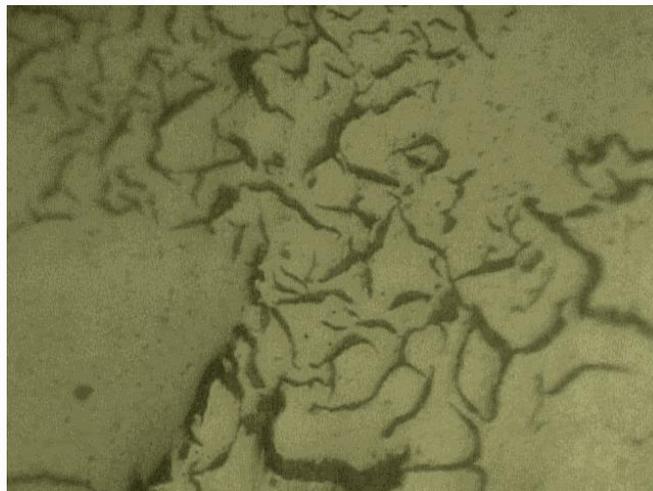
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.

4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

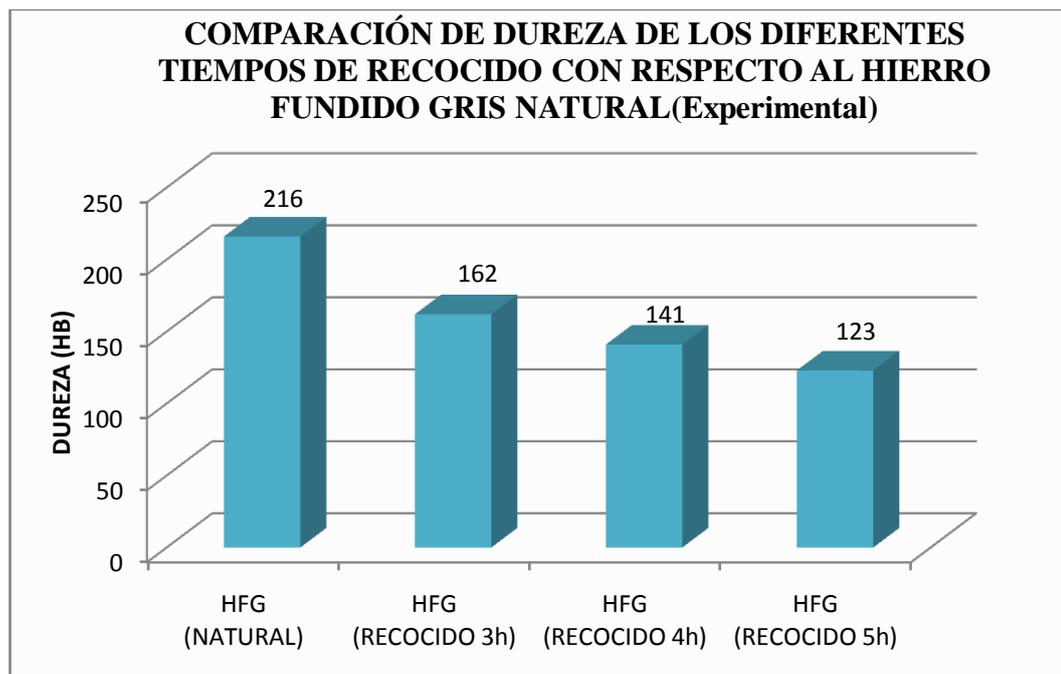


Figura 19. Comparación de dureza de los diferentes tiempos de recocido con respecto al hierro fundido gris natural

En la Figura 19 se observa que el valor más alto de dureza de 216 HB en el Hierro fundido gris es cuando este se encuentra en estado natural, es decir sin tratamiento térmico, también se puede observar que mientras más tiempo de recocido se le dé al hierro fundido gris este disminuye su dureza, es decir para un Hierro fundido gris que ha sido recocido durante 3h la dureza es de 162 HB, asimismo al realizar un recocido durante 4h la dureza es de 141 HB, y cuando el recocido es de 5h la dureza disminuye a 123 HB.

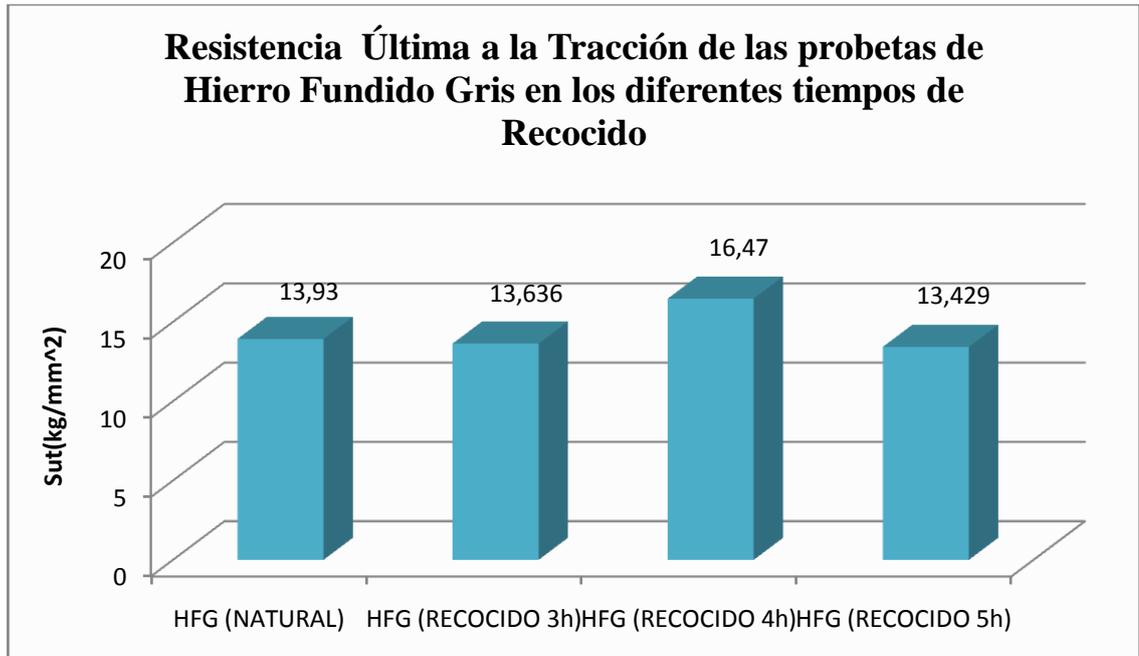


Figura 20 Resistencia Última a la Tracción de las probetas de Hierro Fundido Gris en los diferentes tiempos de Recocido.

En la Figura 20 se compara la resistencia última a la tracción del Hierro Fundido Gris del ensayo experimental el valor más alto es en el Hierro Fundido Gris recocido durante 4h con un valor de 16.47 kg/mm², este valor supera al Sut del material como viene de fábrica es decir el Hierro Fundido Gris natural y a los otros que fueron recocidos a 3h y a 5h.

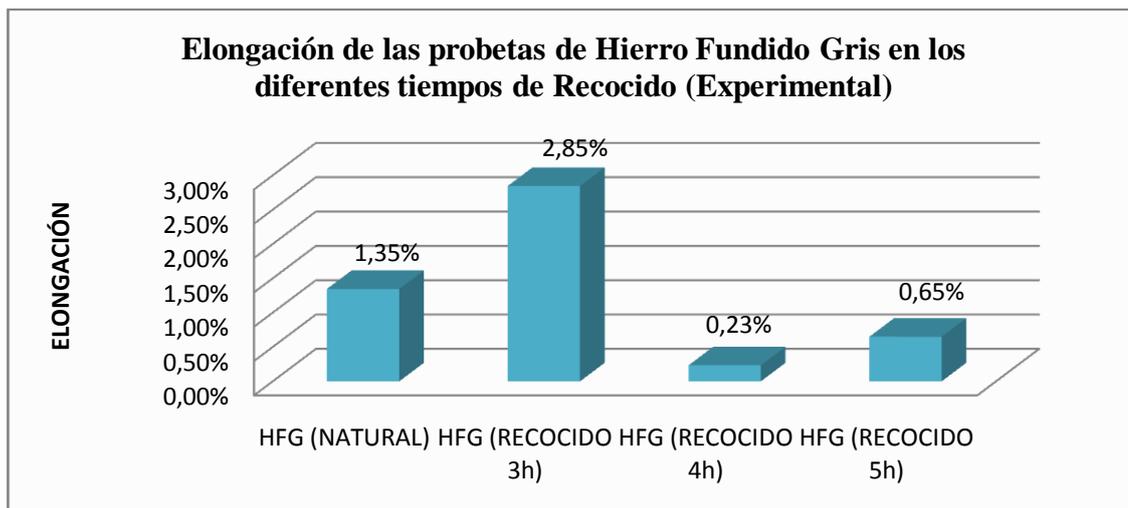


Figura 21 Elongación de las probetas de Hierro Fundido Gris en los diferentes tiempos de Recocido

En la Figura 21 se compara el porcentaje de elongación del Hierro Fundido Gris del ensayo experimental el valor más alto es en el Hierro Fundido Gris recocido durante 3h con un valor de 2.85%, mientras que en el Hierro Fundido Gris recocido a 4h se obtiene un 0.23% el valor más bajo de elongación.

4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Tabla 9. Comparación de resultados en el hierro fundido gris recocido en diferentes tiempos

MATERIAL	HIERRO FUNDIDO GRIS NATURAL	HIERRO FUNDIDO GRIS RECOCIDO (3h)	HIERRO FUNDIDO GRIS RECOCIDO (4h)	HIERRO FUNDIDO GRIS RECOCIDO (5h)
PARÁMETROS				
Dureza	216HB	162HB	141HB	123HB
Resistencia última a la tracción	13.93kg/mm ²	13.636kg/mm ²	16.47kg/mm ²	13.429kg/mm ²
%Elongación	1.35%	2.85%	0.23%	0.65%

Fuente: Ma. Belén Paredes

Luego de haber realizado los ensayos experimentales utilizando diferentes tiempos para el recocido del hierro Fundido Gris se puede determinar que la utilización del recocido como tratamiento térmico en el Hierro fundido Gris satisface específicamente la propiedad de dureza analizada, disminuyendo considerablemente la misma que es el objetivo del recocido y con presencia de grafito laminar en una matriz perlítica, microestructura característica de un Hierro Fundido Gris.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

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

- Se determinó los parámetros fundamentales para realizar el Tratamiento térmico propuesto que es el Recocido en el Hierro Fundido Gris.
- El Recocido se debe realizar a una temperatura de 754°C según el porcentaje de carbono que tiene el Hierro Fundido Gris.
- Se utilizó una misma temperatura de recocido, pero diferentes tiempos de duración del tratamiento, los cuales han dado resultados esperados en cuanto a la disminución en la dureza.
- Se determinó el porcentaje de grafito laminar y perlita presente en las probetas después de haber dado el Tratamiento Térmico.
- El tiempo de duración del recocido que permite obtener los mejores resultados en cuanto a la dureza, la resistencia última a la tracción y estructura metalográfica es de 4h.

- El valor de la dureza en un Hierro Fundido Gris recocido durante 4h es de 141 HB, valor que se compara con el obtenido en un hierro Fundido Gris Natural es decir sin tratamiento térmico que es de 216 HB, notablemente la dureza disminuye con el recocido.
- Se observa que la resistencia última a la tracción aumenta a medida que la dureza disminuye.
- El valor de la resistencia última a la tracción más alto se puede observar en el Hierro Fundido Gris recocido durante 4h.
- Mediante el ensayo de tracción se observa que en la parte del encuellamiento de corte transversal existe una disminución del tamaño de láminas de grafito.

5.2 RECOMENDACIONES

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

- Verificar que los equipos del laboratorio que se vayan a utilizar se encuentren en buen estado, para evitar errores en los resultados.
- Comprobar que el material de estudio sea el correcto, comparando la microestructura con la de la bibliografía.
- La temperatura del recocido tiene que ser determinada según el porcentaje de carbono con ayuda del diagrama hierro- carbono.
- El tiempo de permanencia de las probetas en el horno a partir de la llegada a la temperatura especificada debe ser de 4h.
- Las probetas deben ser enfriadas en el mismo horno hasta el día siguiente, pues de no ser así estas pueden sufrir cambios en la microestructura.
- Se debe preparar correctamente la superficie de las probetas para los ensayos de dureza y metalográficos.
- Para el ataque químico en las probetas de debe utilizar el reactivo Nital 2.

- No se debe utilizar el secador para el secado de las probetas pues la corriente de aire hace que esta, se oxide inmediatamente.
- Secar las probetas al ambiente.
- Tener cuidado en utilizar el microscopio manual, al momento de medir la huella marcada por el durómetro, pues la lectura de esta debe ser lo más exacta posible.
- Las probetas para el ensayo a tracción debe tener las medidas según la norma ASTM E8.
- Para aplicar el deformímetro se debe calibrar antes la probeta.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Los datos para realizar el Tratamiento Térmico del Recocido son los siguientes:

La temperatura a la cual se debe realizar el tratamiento térmico es de 754°C según el porcentaje de carbono que tiene un Hierro Fundido Gris que es de 2.5 % y con la ayuda del diagrama hierro – carbono.

Todo el estudio se desarrolló en la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería civil y Mecánica en los laboratorios de Materiales utilizando los equipos e instrumentos necesarios para determinar las propiedades de interés.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Mediante investigaciones realizadas con anterioridad acerca del Recocido en el Hierro Fundido se puede observar el tratamiento puede tener variantes, pero los más comunes son el enfriamiento interrumpido, enfriamiento lento controlado y tratamiento en una sola etapa, pero se propone realizar el recocido a una temperatura y tiempo de permanencia específico, y enfriamiento en el horno; con

lo cual se ha podido lograr resultados apreciables en comparación a otras variantes comúnmente utilizados.

En el presente trabajo de investigación se realiza el Recocido en el Hierro Fundido gris pues es un material de fácil adquisición contiene un porcentaje de carbono de 2.5 % el cual ayuda en el momento de realizar el tratamiento térmico.

6.3 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio de investigación se lo realiza con el fin de implementar información acerca de tratamientos térmicos en el Hierro Fundido Gris, pues al realizar el Recocido en éste material permite mejorar la ductilidad y tenacidad, ayuda a reducir dureza y remover carburos, lo cual es de gran importancia en la industria.

Es de gran valor realizar el recocido en un Hierro Fundido gris, pues este material tiene alta dureza y es muy frágil, al realizar el recocido se reduce la dureza pero el material logra ductilidad y tenacidad.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 General

- Realizar el tratamiento térmico de Recocido en el Hierro Fundido Gris utilizando una temperatura de 754°C, durante un tiempo de 4h y enfriado en el horno.

6.4.2 Específicos

- Comprobar la estructura metalográfica del Hierro Fundido Gris, recocido a 754°C durante 4h y enfriado en el horno.
- Evaluar la dureza y la resistencia a la tracción, obtenidas realizando el Recocido con los datos mencionados.
- Establecer el procedimiento a realizarse para el desarrollo del Tratamiento térmico citado.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El presente proyecto de investigación está basado en el área de Materiales de Ingeniería Mecánica con este estudio se puede dar un tratamiento térmico alternativo para el Hierro fundido Gris como es el Recocido.

6.5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

En el presente estudio los costos a evaluar se pueden hacer de una forma la cual pueda justificar el desarrollo de la investigación.

A continuación se presentan los costos de los materiales que se utilizaron para la realización del estudio, los cuales están al alcance en el mercado, lo que hace factible el desarrollo del proyecto.

6.5.1.1 COSTOS DIRECTOS

Tabla 10. Costos para realizar el Recocido en el Hierro Fundido Gris.

PROCESO	MATERIALES O ELEMENTOS	COSTO (USD)
Adquisición del Material	Hierro Fundido Gris	90
Maquinado del Material	Torneado de las probetas	160
Tratamiento Térmico (Recocido)	Horno de Tratamiento Térmico	100
Acondicionamiento de la superficie	Lijas N° 240-320-400-600	12
	Paño metalográfico	25
Ataque Químico	Reactivo Nital 2	12
Evaluación	Presentación de Reporte	60
	Total	447
	10 % Imprevistos	44.7
	COSTO TOTAL	491.7

6.5.1.2 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos se presentan como materiales informáticos, de computación, maquinaria, etc. utilizados durante toda la investigación.

6.5.2 ANÁLISIS TECNOLÓGICO

Con la finalización de la investigación realizada, es decir con el Tratamiento Térmico realizado como es el Recocido y los ensayos realizados, sé que es factible realizar el estudio.

Para el desarrollo del presente trabajo no es necesario tener una tecnología avanzada, ya que se utilizan técnicas y normas conocidas.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La presente propuesta se basa en la información recolectada en el Capítulo II y IV que se relaciona con el marco teórico y la experimentación respectivamente, donde se presentan los factores y características de los ensayos realizados durante la investigación para determinar que al realizar el Recocido en el Hierro Fundido Gris se reduce la dureza pero el material logra ductilidad y tenacidad.

6.7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del estudio se requiere el seguimiento de varias actividades las cuales se detallan a continuación:

1. Adquisición del material
2. Maquinado de las probetas
3. Realización del Tratamiento Térmico (RECOCIDO)
4. Desarrollo del Ensayo de Tracción.
5. Preparación de la probeta.
6. Preparación de la superficie para el análisis metalográfico.
7. Ataque químico de la superficie.
8. Evaluación y resultado.
9. Ejecución del ensayo de dureza.

6.7.1 ADQUISICIÓN DEL MATERIAL

El material a utilizarse durante el desarrollo del estudio es el Hierro Fundido Gris, el cual fue adquirido directamente de FUNDICIONES TIRADO HNOS.; el mismo que tiene un porcentaje de carbono de 2.5 %.

El estado de suministro de éste material es en eje fundido sin ningún tratamiento térmico, con una dureza aproximada de 216 HB, se utiliza en piezas de diferente tamaño y complejidad, absorben las vibraciones mecánicas y actúan como auto lubricantes, son resistentes al choque térmico, a la corrosión y de buena resistencia al desgaste, pero poco soldables comparadas con el acero.



Figura 22. Ejes de Hierro Fundido Gris (Fábrica)

Fuente: Ma. Belén Paredes

6.7.2 MAQUINADO DE LAS PROBETAS

Para la elaboración de la probeta se toma en consideración las especificaciones de la norma ASTM E8, en la cual están las dimensiones para las probetas del ensayo de tracción y los detalles para realizar dicho ensayo.

6.7.2.1 CORTE DE LAS PROBETAS

Según la norma ASTM E8 las dimensiones de la probeta son:

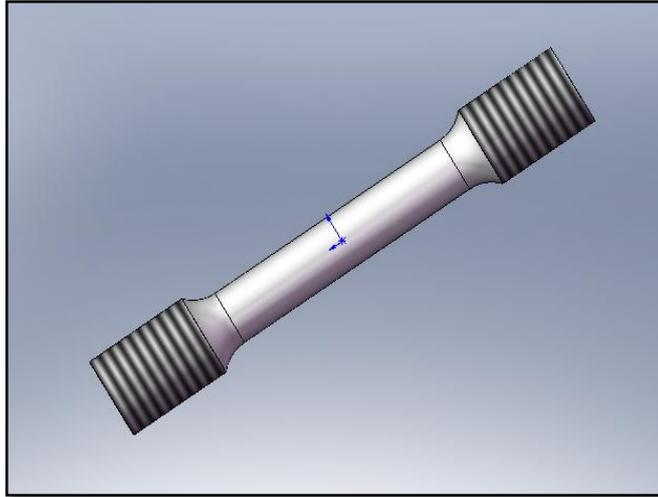


Figura 23 Espécimen 01 Hierro Fundido Gris (Probeta para ensayo de tracción)

Fuente: Ma. Belén Paredes

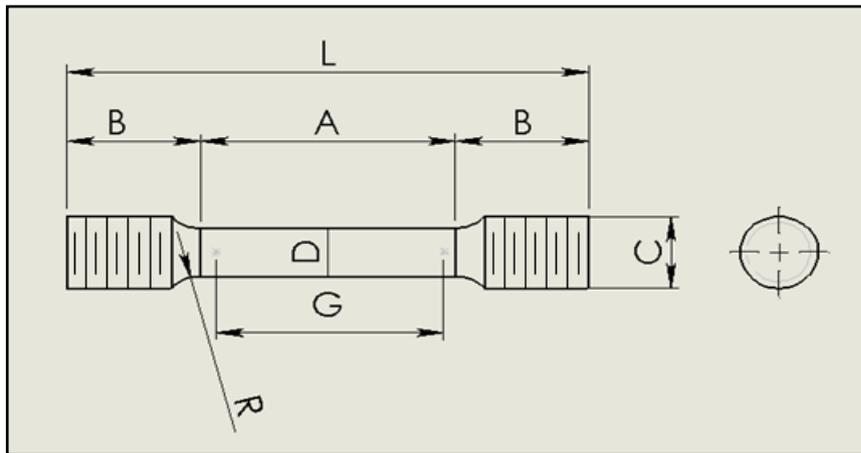


Figura 24 Espécimen 01 Hierro Fundido Gris (Probeta para ensayo de tracción dimensiones)

Fuente: Ma. Belén Paredes

Tabla 11. Dimensiones del Espécimen 01 Hierro fundido Gris (Probeta para el ensayo de tracción)

Fuente: Ma. Belén Paredes

DENOMINACIÓN	SÍMBOLO	DIMENSIÓN (pulg)
Longitud total	L	5
Longitud de la reducción de sección	A	$2\frac{1}{4}$
Distancia del fin de la sección	B	$1\frac{3}{8}$
Diámetro en la reducción de sección	D	$\frac{1}{2}$
Distancia de calibración	G	2
Radio del chaflán	R	$\frac{3}{8}$
Diámetro en el final de la sección	C	$\frac{3}{4}$

Siguiendo lo establecido en la tabla 10 la probeta debe tener 5 pulgadas de longitud.



Figura 25 Probeta de Hierro Fundido Gris de 5pulgadas

Fuente: Ma. Belén Paredes

Una vez que el eje está de 5 pulgadas de longitud y con un diámetro de 3/4, se debe realizar el desbaste en un torno, con la finalidad que el eje quede con un buen acabado y con las dimensiones especificadas anteriormente, es decir la reducción del área debe quedar de 1/2 pulgada, y además se debe realizar la rosca en los extremos de la probeta, para poder acoplar el momento del ensayo de tracción en la máquina universal.



Figura 26. Probetas de Hierro Fundido Gris para ser Recocidas.

Fuente: Ma. Belén Paredes

6.7.3 REALIZACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO (RECOCIDO)

Para realizar el Recocido se utiliza un horno para tratamientos térmicos a una temperatura de 754°C debido al porcentaje de carbono que tiene el Hierro fundido Gris, para llegar a esta temperatura se debe esperar 3 horas aproximadamente. Desde el encendido del horno se debe poner la probeta en el interior del horno, cuando el horno llega a la temperatura requerida las probetas deben permanecer durante 4 horas, luego se debe apagar el horno y dejar que las probetas se enfríen lentamente dentro del horno.



Figura 27. Horno para realizar el Recocido

Fuente: Ma. Belén Paredes



Figura 28. Probeta de Hierro Fundido Gris Recocida a 754°C durante 4h

Fuente: Ma. Belén Paredes

- PARTE PRÁCTICA TRATAMIENTO TÉRMICO DE RECOCIDO

Ensayo 03, Probeta N° 20 (pag. 128 - 130)



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

ENSAYO 03

PROBETA N°	20	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		16/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	4h	DETALLE REFERENCIAL 			
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	5"				
Características:	Eje				

6.7.4 DESARROLLO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Luego de haber realizado el recocido, se realiza el ensayo de tracción, la probeta ^{1/3} debe estar calibrada a una longitud de 2 pulgadas para poder ubicar el deformímetro en las marcas señaladas.

Se procede a acoplar la probeta en la Máquina Universal Tinius Olsen capacidad 30 ton. para aplicar la carga utilizando el método de deformación controlada.



Figura 29 Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 ton. (Acoplamiento de la probeta)

Fuente: Ma. Belén Paredes

Una vez que la probeta está correctamente acoplada a la máquina y con el deformímetro, se aplica carga hasta que la probeta se rompa, durante el ensayo se van tomando mediciones de carga – deformación las cuales van a utilizarse para realizar el gráfico esfuerzo – deformación y los cálculos necesarios. Luego de la ruptura se debe medir la probeta para determinar la longitud y el diámetro final.



Figura 30. Probeta de Hierro Fundido Gris luego de haber realizado el ensayo de tracción

Fuente: Ma. Belén Paredes



Figura 31. Probeta de Hierro Fundido Gris calibrada después de haber realizado el ensayo de tracción

Fuente: Ma. Belén Paredes

- PARTE PRÁCTICA ENSAYO DE TRACCIÓN

Ensayo 03, Probeta N° 20 (pag. 128 - 130)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
ENSAYO 03					
PROBETA N°	20	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		16/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático



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



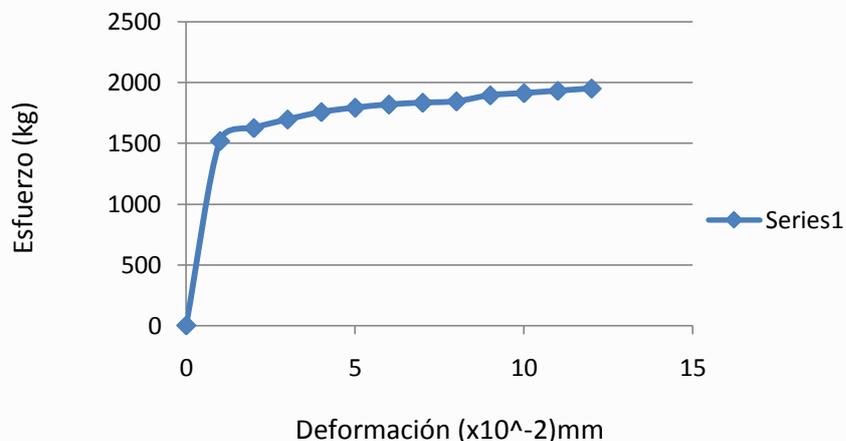
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Ensayo realizado según norma ASTM E8M-04		Probeta N° 20	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales - FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	16/06/2011	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	1952kg	Carga de Ruptura:	1952kg

RESULTADO:

GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

HIERRO FUNDIDO GRIS Recocido durante 4h



Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{127.30226 - 127}{127} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 0.238\%$$

Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 114.325}{126.67} * 100$$

$$\% \text{reducción} = 9.745\%$$

Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = \frac{1952 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad \rightarrow \quad S_{ut} = 15.41 \text{kg} / \text{mm}^2$$



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



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 20	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.45W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.4 m/s	Otros:	

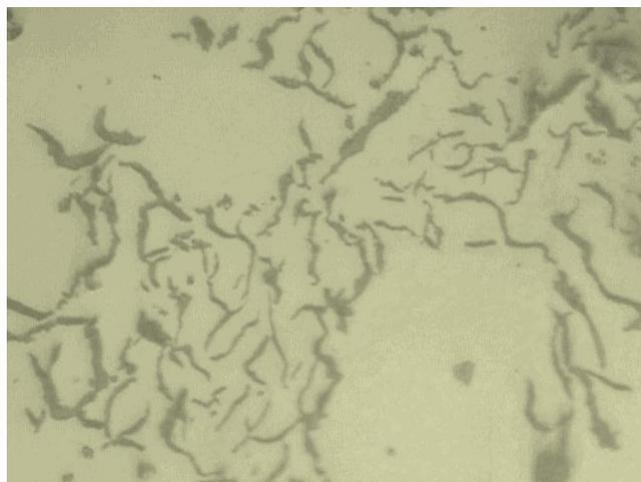
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS COMO VIENE DE FÁBRICA (400_X) DESPUÉS DE REALIZADO EL ENSAYO DE TENSIÓN

ENCUELLAMIENTO CORTE TRANSVERSAL



Interpretación de Resultados:

En la fotografía se observa la disminución del grafito en el corte Transversal.

Con la elaboración de las probetas se ha procedido a realizar los siguientes cálculos, los cuales dan resultados deseados de tal manera, la propuesta se ha realizado de acuerdo a los siguientes datos:

Datos iniciales :

Material: Hierro Fundido Gris

$$\phi_0 = \frac{1}{2}'' (12.7) \text{ mm}$$

$$l_0 = 5'' (127) \text{ mm}$$

Temperatura de Recocido: 754°C

Tiempo de Permanencia: 4h

Enfriamiento: Lento en el Horno

Realizado el ensayo de tracción según la norma ASTM E8, en la máquina universal del Laboratorio de Materiales de la carrera de Ing. Civil.

Se determina que la carga máxima que soporta el Hierro Fundido Gris después de realizado el tratamiento térmico del Recocido en las condiciones expuestas anteriormente es :

$$P_{max} = 1952 \text{ kg}$$

$$\phi_f = 0.475'' (12.065) \text{ mm}$$

$$l_f = 5.0119'' (127.30226) \text{ mm}$$

6.7.4.1 CÁLCULO DE ÁREA INICIAL (PROBETA N°20)

$$A_0 = \frac{\pi(\phi_0)^2}{4}$$

$$A_0 = \frac{\pi(12.7)^2}{4}$$

$$A_0 = 126.67mm^2$$

6.7.4.2 CÁLCULO DE ÁREA FINAL (PROBETA N°20)

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

$$A_f = \frac{\pi(12.065)^2}{4}$$

$$A_f = 114.325mm^2$$

6.7.4.3 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TRACCIÓN (PROBETA N°20)

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

$$Sut = \frac{1952kg}{126.67mm^2}$$

$$Sut = 15.41kg / mm^2$$

6.7.4.4 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ALARGAMIENTO (%) (PROBETA N°20)

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100$$

$$\varepsilon = \frac{127.30226 - 127}{127} * 100$$

$$\varepsilon = 0.238\%$$

6.7.4.5 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DEL ÁREA (%) (PROBETA N°20)

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100$$

$$\% \text{reducción} = \frac{126.67 - 114.325}{126.67} * 100$$

$$\% \text{reducción} = 9.745\%$$

6.7.5 PREPARACIÓN DE LA PROBETA

Se prepara la probeta de $\frac{3}{4}$ de diámetro y de 1cm de longitud, previamente hecho el recocido, para realizar el ensayo metalográfico y poder observar la micro estructura formada.



Figura 32. Probeta de Hierro Fundido Gris Recocida a 754°C durante 4h ($\frac{3}{4}$ de diámetro y de 1cm de longitud)

Fuente: Ma. Belén Paredes

De la probeta en la que se realizó el ensayo de tracción se procede a cortar la parte del encuellamiento (1cm) para ver las láminas de grafito de manera transversal.



Figura 33. Corte de la probeta de Hierro Fundido Gris después del ensayo de tracción (encuellamiento corte transversal)

Fuente: Ma. Belén Paredes

6.7.6 PREPARACIÓN METALGRÁFICA DE LA SUPERFICIE PARA EL ANÁLISIS

Cuando las probetas están cortadas se prepara la superficie para observar la estructura metalográfica para lo cual se deberá seguir los siguientes pasos:

6.7.6.1 Desbaste grueso

El desbaste grueso se realiza para remover las rebabas y las deformaciones debidas al corte, con instrumentos como la lima de media caña y una lima fina.

6.7.6.2 Desbaste fino

Esté procedimiento remueve la zona deformada causada por el proceso anterior, para lo cual se utiliza lijas que van desde la número 240-320-400-600 granos por pulgada cuadrada. La probeta se debe ir deslizando sobre las lijas en dirección opuesta al operador para que se formen rayas en una sola dirección.

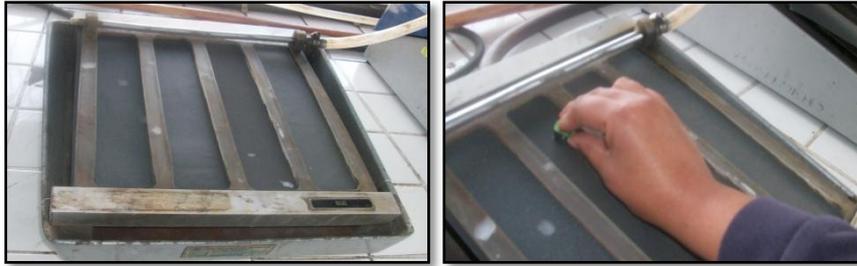


Figura 34. Desbaste fino realizado en un banco de cuatro tipos de lijas (240-320-400-600 granos por pulgada cuadrada)

Fuente: Ma. Belén Paredes

6.7.6.3 Pulido Grueso

Consiste en un desbaste ligero, se emplea la pulidora de paño utilizando como abrasivo alúmina de 0.5 – 1 micras en suspensión en agua.



Figura 35. Pulidora de paño

Fuente: Ma. Belén Paredes

6.7.6.3 Pulido Fino

Después del pulido grueso, la superficie de la probeta se muestra con pequeñas deformaciones, las que serán eliminadas utilizando abrasivo de alúmina de 0.05 – 0.3 micras de tamaño promedio en suspensión en agua, la superficie debe quedar brillante sin líneas.



Figura 36. Pulido Fino

Fuente: Ma. Belén Paredes

6.7.7 Ataque químico de la superficie

Una vez que la superficie se encuentra bien pulida se procede a realizar el ataque químico, para poder observar en el microscopio metalográfico la estructura del Hierro Fundido Gris. El reactivo a utilizarse tiene que ser para fundiciones en este caso se utiliza el Nital 2 propio para aceros de medio y alto contenido de carbono y fundiciones por un tiempo de 30min.



Figura 37. Reactivo Nital 2

Fuente: Ma. Belén Paredes



Figura 38. Ataque Químico (Reactivo Nital 2)

Fuente: Ma. Belén Paredes

Luego del ataque químico se debe lavar la probeta con agua y el secado de la superficie se lo debe hacer a temperatura ambiente para evitar que la superficie se oxide inmediatamente.

6.7.8 Evaluación y resultado

Cuando la probeta se seca, se observa la estructura metalográfica para esto se cuenta con un sistema de circuito cerrado de televisión el cuál consta de un computador, cámara digital acoplada al microscopio, televisor y software.



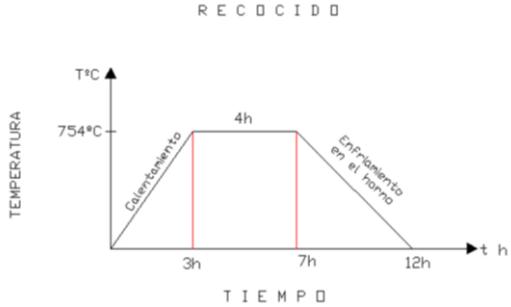
Figura 39. Sistema de circuito cerrado de televisión

Fuente: Ma. Belén Paredes

• PARTE PRÁCTICA ENSAYO METALOGRAFICO

Ensayo 01, Probeta N° 08 (pag. 87 - 90)

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
PROBETA N°	08	Autorizado por:	Ing. H. Vaca	Realizado por:	Ma. Belén Paredes
Lugar de realización:	Laboratorio de Materiales-FICM		Fecha de ejecución:		16/06/2011
Temperatura ambiente del lugar:			21°C	Flujo de aire del medio:	Estático

ESPECIFICACIONES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Tratamiento Térmico:	Recocido	Tipo:	Integral	Temperatura del Recocido:	754°C
Medio de enfriamiento:	Convencional	Medio:	Horno		
Tiempo de permanencia Horno:	4h			DETALLE REFERENCIAL 	
Especificación Material	Hierro Fundido				
Tipo o grado:	Gris				
Diámetro:	3/4"				
Longitud:	0.3937"				
Características:	Eje				
					



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



ENSAYO METALGRÁFICO

Datos Informativos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	01
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 08	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

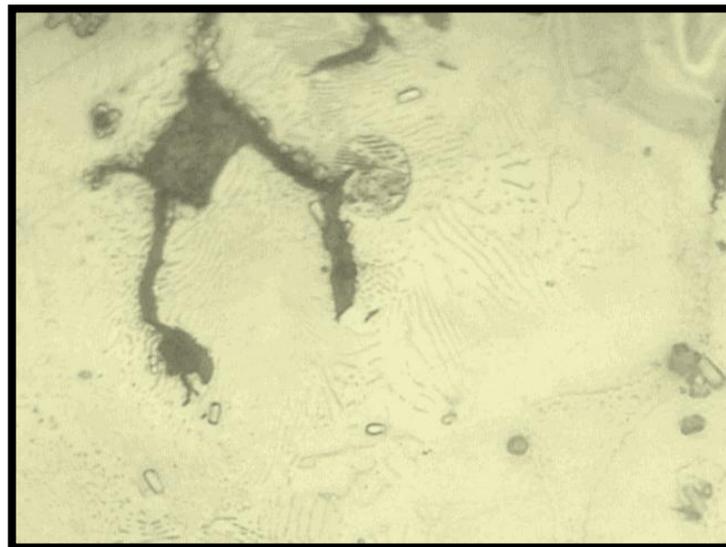
Lugar:	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico	
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	30 min
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 2	Durante:	30 min

RESULTADO:

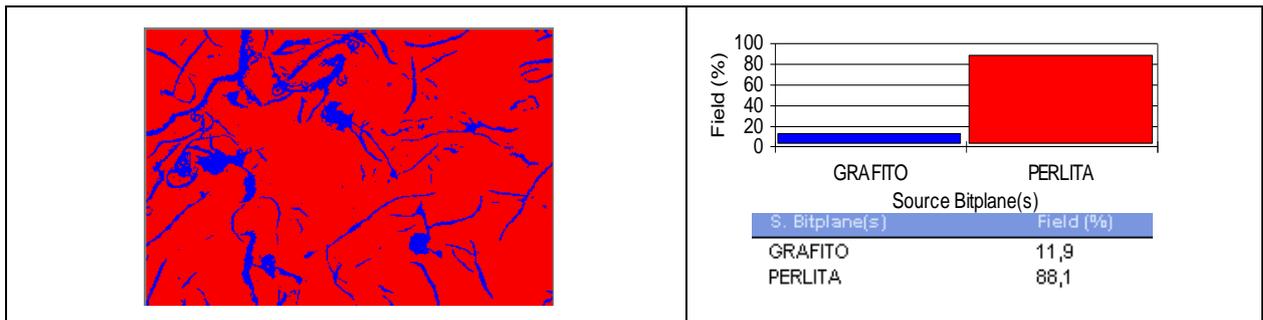
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO GRIS CON UN RECOCIDO DE
 4h
 (400 X)



HIERRO FUNDIDO GRIS CON RECOCIDO DE 4h 400X 30min Nital 2

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:

Determinación del tamaño de láminas del grafito:	Microestructura: HIERRO FUNDIDO GRIS 100X 30min Nital 2
Cálculos: $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ Lámina más grande: 4cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 4\text{cm}$ $X = 288\mu\text{m}$ Lámina mediana : 3cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 3\text{cm}$ $X = 216\mu\text{m}$ Lámina pequeña : 0.5cm $720\mu\text{m} \rightarrow 10\text{cm}$ $X \rightarrow 0.5\text{cm}$ $X = 36\mu\text{m}$	 <p style="text-align: center;">720μm</p>
Componentes:	Grafito y perlita



Interpretación de Resultados:

La microestructura del Hierro Fundido Gris analizada realizando el tratamiento térmico de recocido por 4 horas y utilizando un software, tiene láminas de grafito de distintos tamaños midiendo la más grande 288 μm y la más pequeña 36 μm . Está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 11.9% y 88.1% respectivamente.

6.7.9 Ejecución del Ensayo de Dureza

El ensayo de dureza se lo realiza en el durómetro para obtener una dureza en la escala Brinell, para lo cual se utiliza un indentador de 2.5mm para la penetración, es decir para marcar la huella en la probeta.



Figura 40. Durómetro

Fuente: Ma. Belén Paredes

Seguidamente con la ayuda de un microscopio manual se mide la huella, y luego se lee esta medida en el catálogo para obtener la equivalencia de dureza brinell.

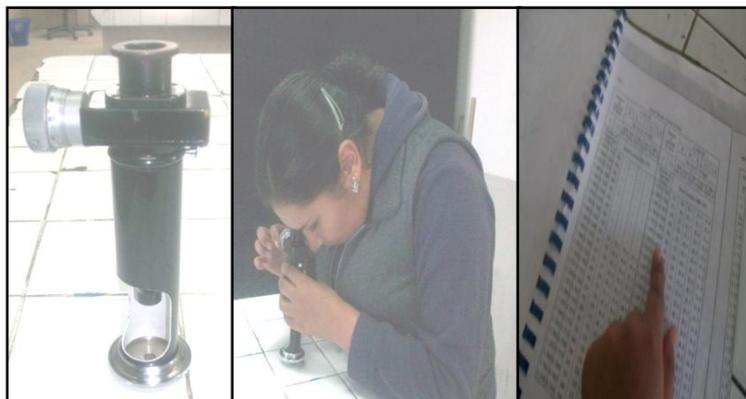


Figura 41. Determinación de la Dureza Brinell

Fuente: Ma. Belén Paredes

- PARTE PRÁCTICA ENSAYO DE DUREZA

Ensayo 01, Probeta N° 08 (pag. 87 - 90)

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 			
ENSAYO DE DUREZA			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°:	02
Identificación del componente de estudio:		Probeta N° 08	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2011
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Ma. Belén Paredes	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	1.4 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	0.1 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
DESCRIPCIÓN:			
Método:	Brinell		
Tipo de penetrador:	Identador 2.5mm		
Cantidad de carga aplicada:	1839 Kgf	Tiempo de ensayo:	10 min
RESULTADO: Diámetro de la marca 1.26 lo cual da 140 HB de dureza.			
4/4			

- **CONCLUSIÓN:**

Al realizar el tratamiento térmico del hierro fundido gris, a 754°C por 4h y con un enfriamiento lento en el horno, se obtuvieron resultados importantes como: en la microestructura, distintos tamaños de láminas de grafito midiendo la más grande

288 μ m y la más pequeña 36 μ m, además está constituida de Grafito y Perlita en porcentajes volumétricos de 11.9% y 88.1% respectivamente. La dureza obtenida es de 140 HB, y la resistencia última a la tracción es de 15.41kg/mm².

6.8 ADMINISTRACIÓN

A continuación se presenta los costos que fueron necesarios para el desarrollo del estudio.

Tabla 12. Administración de Tesis

Fuente: Ma. Belén Paredes

RUBROS DE GASTOS (RECURSOS MATERIALES)			
CANTIDAD	DETALLE	PRECIO (Unit)	VALOR (usd)
12	Eje Hierro Fundido Gris Ø 1”x 6”	7.50	90
1/2	Metro paño metalográfico	25	12.5
1	Pliego de lija N° 240	0.6	0.6
1	Pliego de lija N° 320	0.6	0.6
1	Pliego de lija N° 400	0.6	0.6
1	Pliego de lija N° 600	0.6	0.6
1	Reactivo Nital 2	12	12
1/2	Libra de alúmina	160	80
12	Maquinado de las probetas	13.33	160
		TOTAL 1	356.9

RUBROS DE GASTOS (RECURSOS HUMANOS)			
CANTIDAD	DETALLE	PRECIO (Unit)	VALOR (usd)
1	Recolector de la información	50	50
1	Ayudante para la preparación de probetas	50	50
		TOTAL 2	100

RUBROS DE GASTOS (RECURSOS VARIOS)			
CANTIDAD	DETALLE	PRECIO (Unit)	VALOR (usd)
3	Resmas de hojas	5	15
750	Impresiones	0.15	112.5
420	Copias	0.02	8.4
3	Anillados	3	9
3	Empastados	10	30
200	Horas Internet	0.8	160
	Transporte	100	100
		TOTAL 3	434.9
		SUBTOTAL	891.8
		10% Imprevistos	89.18
		TOTAL	980.98

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Con la finalización del presente trabajo de investigación se determina que al realizar el Recocido en el Hierro Fundido a una temperatura de 754°C, durante 4 horas y con un enfriamiento lento en el horno esto da resultados estimables de disminución de dureza y una mejora de ductilidad y tenacidad del material.

El desarrollo de la investigación se realizó en la Universidad Técnica de Ambato, en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en los laboratorios de materiales de las dos carreras, pues aquí se cuenta con todos instrumentos y equipos necesarios para la investigación.

Para mejorar el estudio se recomienda que se realice otros tipos de tratamientos térmicos en el Hierro Fundido Gris para comparar los resultados con los presentados en este estudio.

6.10 BIBLIOGRAFÍA

6.10.1 LIBROS

1. Smith, William. 2005. Fundamentos de la ciencia e Ingeniería de Materiales, Concepción Fernández España, Madrid.
2. Askeland. Donal: 1998. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Internacinal Thomson Editores. México
3. Sydney H. Avner. 1984, Introducción a la Metalurgia Física, Mc. Graw Hill. México.
4. Fabiola Sánchez, Moisés Hinojosa y Virgilio González. Hojuelas de grafito en hierro fundido gris: análisis fractal y estadístico
5. Carl A. Keyser. 1992, Ciencia de materiales para Ingeniería, Ed. Limusa. México.
6. Malishev. Shuvalov. 1985. Tecnología de los Materiales. Mr. S.A Rusia Moscú
7. Callister, William. 1995. Introducción a la ciencia e Ingeniería de los Materiales. Reverté S.A. México.
8. Kalpakjian. Scrope, 2002. Manufactura Ingeniería y Tecnología. Pearson Educación. México, México D.F.
9. John E. Neely. 2002, Metalurgia y materiales Industriales, Ed. Grupo Noriega. México

6.10.2 PÁGINAS WEB

- <http://www.turkdokum.com/turkishfoundryindustry.htm>
- <http://www.arqhys.com/contenidos/hierro-tratamiento.html>
- <http://www.advance.com.ar/usuarios/eupages>
- <http://www.key-to steel.com/articles/art10.htm> (2000)
- <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/hierro.htm>
- <http://www.cerrajeriasblas.com/HIERRO/elhierro.html>
- <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2001/adi/cast.iron.html>
- <http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/manual/ferro.asp?lng=esp>

ANEXOS

ANEXO A1

DIAGRAMA HIERRO- CARBONO

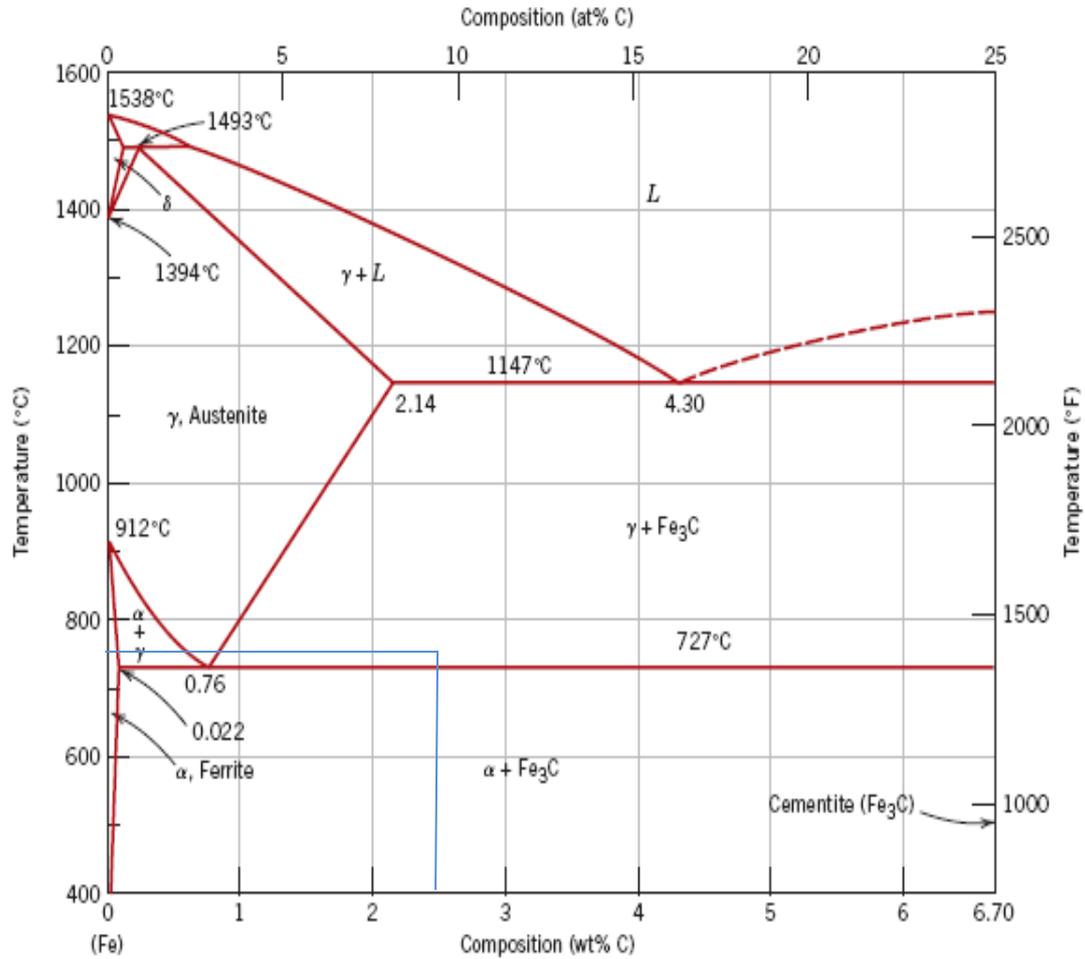
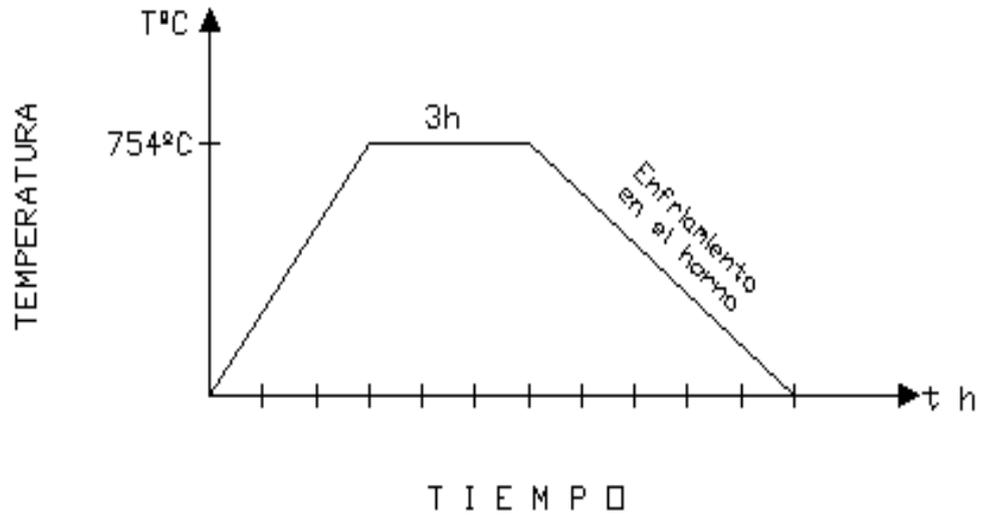


Figure 9.24 The iron–iron carbide phase diagram. [Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH.]

1. **Fuente:** Callister, William. Introducción a la ciencia e Ingeniería de los Materiales.

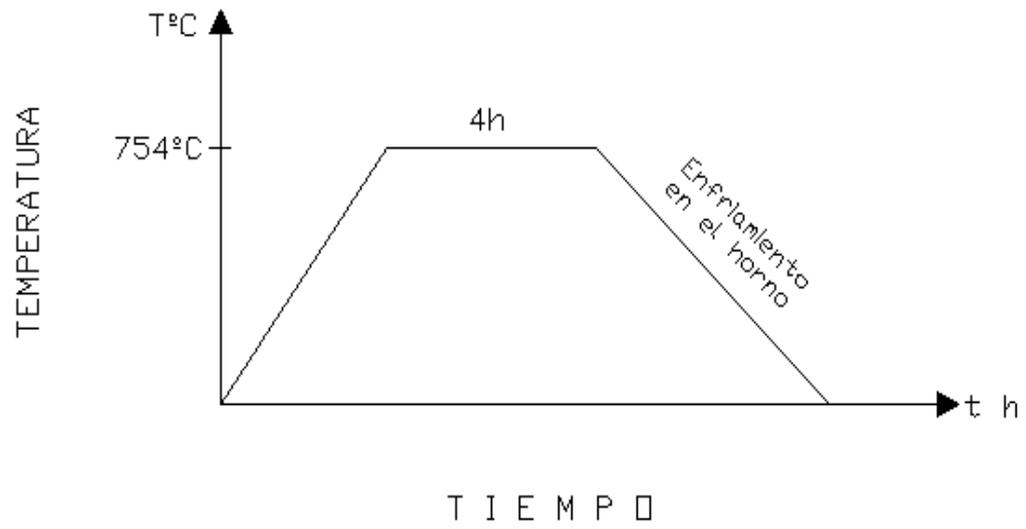
ANEXO A2

RECOCCIDO



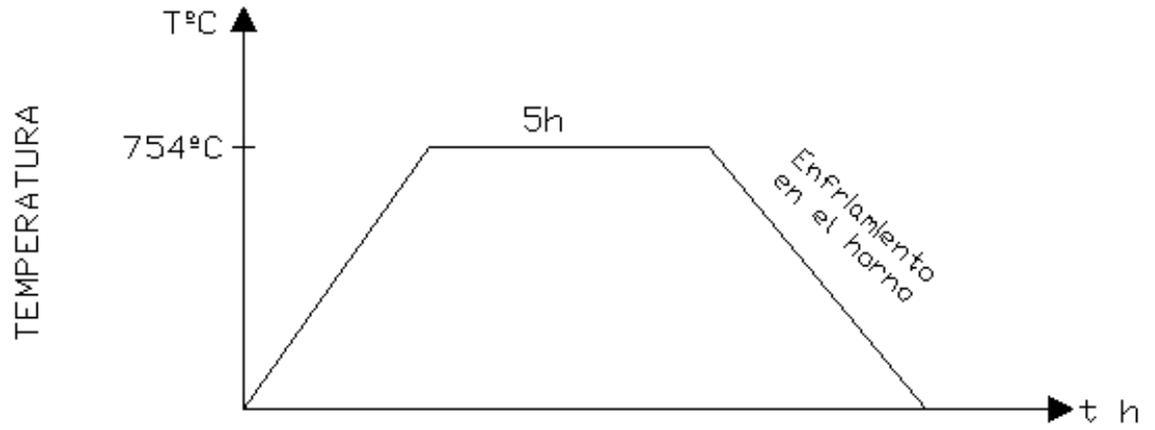
ANEXO A3

R E C O C I D O



ANEXO A4

R E C O C I D O

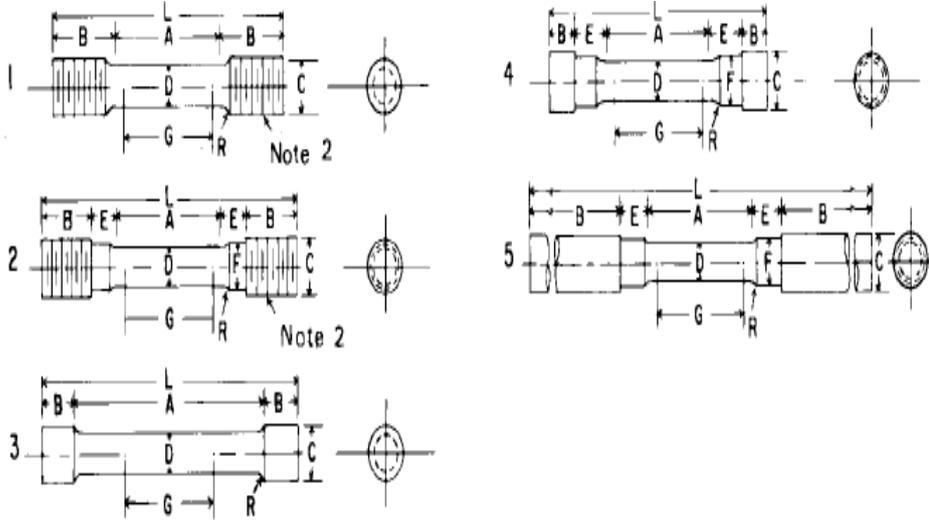


T I E M P O



ANEXO A5

ASTM E8



	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.	in.	in.	in.	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$
A—Length of reduced section	$2\frac{1}{4}$, min	$2\frac{1}{4}$, min	4, approximately	$2\frac{1}{4}$, min	$2\frac{1}{4}$, min
L—Over-all length, approximate	5	$5\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$4\frac{3}{4}$	$9\frac{1}{2}$
B—Length of end section (Note 3)	$1\frac{1}{8}$, approximately	1, approximately	$\frac{3}{4}$, approximately	$\frac{1}{2}$, approximately	3, min
C—Diameter of end section	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$2\frac{3}{32}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{4}$
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	...	$\frac{5}{8}$...	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$
F—Diameter of shoulder	...	$\frac{5}{8}$...	$\frac{5}{8}$	$1\frac{1}{32}$

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.005 in. larger in diameter than the center.

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

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