



## *Análisis cualitativo y numérico de muestras metalográficas del Hierro Fundido Gris*

### *Qualitative and numerical analysis of metallographic samples of Gray Cast Iron*

## *Análise qualitativa e numérica de amostras metalográficas de Ferro Fundido Cinzento*

Carlos Oswaldo Serrano-Aguilar <sup>I</sup>  
[carlos.serrano@esPOCH.edu.ec](mailto:carlos.serrano@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-0653-1115>

Marcelo Esteban Calispa-Aguilar <sup>II</sup>  
[marcelo.calispa@esPOCH.edu.ec](mailto:marcelo.calispa@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-4085-8488>

José Luis Ramírez-Constante <sup>III</sup>  
[jose.ramirez@esPOCH.edu.ec](mailto:jose.ramirez@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8302-5825>

Marco Ramiro Guerrero-Ramos <sup>IV</sup>  
[marco95gr@gmail.com](mailto:marco95gr@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-7234-4270>

**Correspondencia:** [carlos.serrano@esPOCH.edu.ec](mailto:carlos.serrano@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

**\*Recibido:** 30 de Septiembre de 2021 **\*Aceptado:** 30 de Octubre de 2021 **\* Publicado:** 15 de Noviembre de 2021

- I. Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería Mecánica con Mención en Materiales y Procesos de Manufactura, Master Universitario en Ingeniería Matemática y Computación, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación & Vinculación AUTOPRO, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero Mecánico, Master of Philosophy Mechanical and Systems Engineering, Máster Universitario en Ingeniería Matemática y Computación, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación & Vinculación AUTOPRO, Riobamba, Ecuador.
- III. Estudiante de la Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Estudiante de la Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

Esta investigación presenta el análisis y caracterización metalográfica del árbol de levas de un Chevrolet corsa, el cual, debido al uso presentó desgaste en las levas, motivando a dar aplicación a métodos de análisis cualitativos y cuantitativos de los materiales. Se parte con la extracción de probetas en lugares más críticos de desgaste para preparar metalográficamente de acuerdo a la Norma ASTM E3 y evaluar la microestructura a fin de reconocer el tipo de material que fue fabricado, obteniendo como resultado una fotomicrografía de Hierro Fundido Gris, información que revela los métodos que se emplearan para la caracterización, así como el reactivo con el que se debe atacar las muestras para determinar el tipo de matriz presenta el material de acuerdo a la Norma ASTM E407. Este resultado se comparó con bibliografía como el Metals HandBook ítem de Iron Cast donde se encuentran fotomicrografías de este tipo de material tomadas a diferentes aumentos, lo cual corrobora que los resultados obtenidos en el Laboratorio de Materiales de la ESPOCH son los correctos. Finalmente se abordó el análisis de las fotomicrografías obtenidas en el programa Imagej el cual permite a medir partículas y granos, facilitando la cuantificación dimensional de las hojuelas de grafito conociendo así el tamaño y tipo presentes en este material lo cual es muy importante ya que de estas depende mucho el comportamiento del elemento, ya que, si estas son desmedidas el material tenderá al desgaste y a la falla mucho más rápido, llegando a la conclusión que el Hierro Fundido es un material con capacidad de absorber vibraciones, cualidades auto lubricantes y con una adecuada matriz como la perlítica presenta una buena resistencia al desgaste, fundamentando su aplicación para el árbol de levas de los vehículos.

**Palabras Claves:** Caracterización metalográfica; hierro fundido gris; árbol de levas; análisis numérico.

## Abstract

This research presents the analysis and metallographic characterization of the camshaft of a Chevrolet corsa, which, due to use, showed wear on the cams, motivating the application of qualitative and quantitative analysis methods of the materials. It starts with the extraction of specimens in the most critical places of wear to prepare metallographically according to the ASTM E3 Standard and evaluate the microstructure in order to recognize the type of material

that was manufactured, obtaining as a result a photomicrograph of Gray Cast Iron, information that reveals the methods that will be used for characterization, as well as the reagent with which the samples must be attacked to determine the type of matrix the material presents according to Normra ASTM E407. This result was compared with bibliography such as the Metals HandBook item by Iron Cast where photomicrographs of this type of material are found taken at different magnifications, which corroborates that the results obtained in the ESPOCH Materials Laboratory are correct. Finally, the analysis of the photomicrographs obtained in the Imagej program was addressed, which allows to measure particles and grains, facilitating the dimensional quantification of the graphite flakes, thus knowing the size and type present in this material, which is very important since these The behavior of the element depends a lot, since, if these are excessive, the material will tend to wear and fail much faster, reaching the conclusion that Cast Iron is a material with the ability to absorb vibrations, self-lubricating qualities and with adequate matrix such as pearlitic has good resistance to wear, basing its application for the camshaft of vehicles.

Keywords: Metallographic characterization; gray cast iron; camshaft; numerical analysis.

## Resumo

Esta pesquisa apresenta a análise e caracterização metalográfica do eixo de comando de um Chevrolet corsa, que, devido ao uso, apresentou desgaste nos comandos, motivando a aplicação de métodos de análise qualitativa e quantitativa dos materiais. Inicia-se com a extração de corpos de prova nos locais mais críticos de desgaste para preparar metalograficamente de acordo com a Norma ASTM E3 e avaliar a microestrutura de forma a reconhecer o tipo de material que foi fabricado, obtendo como resultado uma fotomicrografia de Ferro Fundido Cinzento, informações que revelam os métodos que serão utilizados para a caracterização, bem como o reagente com o qual as amostras devem ser atacadas para determinar o tipo de matriz que o material apresenta de acordo com Normra ASTM E407. Esse resultado foi comparado com bibliografia como o item Metals HandBook da Iron Cast onde se encontram fotomicrografias desse tipo de material tiradas em diferentes aumentos, o que corrobora que os resultados obtidos no Laboratório de Materiais da ESPOCH estão corretos. Por fim, foi abordada a análise das fotomicrografias obtidas no programa Imagej, que permite medir partículas e grãos, facilitando

a quantificação dimensional dos flocos de grafite, sabendo assim o tamanho e tipo presente neste material, o que é muito importante visto que estes o comportamento do elemento depende muito, pois, se estes forem excessivos, o material tenderá a se desgastar e falhar muito mais rápido, chegando-se à conclusão de que o Ferro Fundido é um material com capacidade de absorver vibrações, qualidades autolubrificantes e com matriz adequada como o perlítico tem boa resistência ao desgaste, fundamentando sua aplicação em árvores de cames de veículos.

**Palavras-chave:** Caracterização metalográfica; ferro fundido cinzento; eixo de comando; análise numérica.

## Introducción

El árbol de levas es una de las piezas más importantes del motor del automóvil. Se encuentra situado en la culata y se encarga de controlar la apertura y cierre de las válvulas por donde entra y sale la mezcla de aire y combustible en el interior de los cilindros.



**Figura 1.** Árbol de Levas.

El funcionamiento, aunque obviamente es técnico y mecánico, de igual manera va a depender del arranque eléctrico, porque en un principio todos los componentes de un vehículo están íntimamente conectados de tal manera que uno no puede funcionar sin el otro. Así que al girar la llave del contacto la misma manda un impulso eléctrico que en algunos casos se le denomina burro de arranque y el resultado es que hace girar el cigüeñal del motor y así comienza todo. Al hacer girar el cigüeñal esto empuja y retrae de manera repetitiva los pistones por medio de anclajes denominadas bielas, estas llevan y traen los pistones dentro de unos agujeros que llamamos cilindros.

## Tipos de árbol de levas

- Hidráulico: Este tipo de árbol de levas utiliza un elevador hidráulico, lo que produce un movimiento más progresivo que un árbol de levas levantador de sólidos y produce una excelente potencia y fiabilidad.
- Árbol de levas mecánico: La mayoría de los motores modernos utilizan este tipo de árbol de levas, debido a la posibilidad de crear un motor de altas revoluciones que puede obtener mayor rendimiento de combustible. Estos árboles de levas usan seguidores, para realizar el empuje de las válvulas. (Gonzalez, 2019)
- Electrónico: Este tipo de árbol de levas utiliza una serie de elementos electrónicos que, una vez programados pueden accionar las válvulas por medio de un sistema neumático de manera inmediata con una eficiencia mucho mayor a la que proporciona un árbol de levas convencional, este control electrónico directo sobre cada válvula mejora el rendimiento y reduce el consumo en entre un 12 y un 17 por ciento en comparación con un motor moderno convencional. (Harvey & G, 2007)

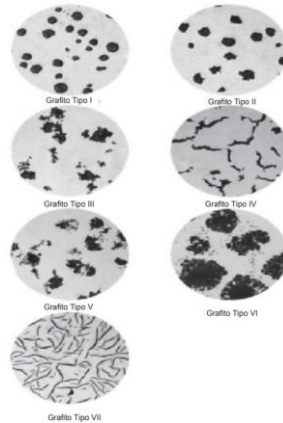
### **Fabricación**

Procedimiento de fabricación de un árbol de levas para un motor de combustión interna. Comprende montar una pluralidad de anillos de levas inicialmente circulares sobre un elemento tubular central; deformar los anillos de levas hasta el perfil deseado de las levas mediante presionado en cavidades de troquelado de un dispositivo de conformado; y expansionar, radialmente hacia el exterior, el elemento tubular al interior de los anillos de levas de perfil configurado mediante la aplicación de fluido interno a presión al elemento tubular. Los anillos de levas quedan asegurados así contra el movimiento rotacional y axial respecto al elemento tubular. En resumen, es un proceso de forja, y luego suelen someterse a acabados superficiales como cementados, para endurecer la superficie del árbol, pero no su núcleo. (España Patente n° 2 0007 075, 1987)

### **Hierro Fundido**

Generalmente están fabricados en hierro fundido debido a sus propiedades mecánicas y el desempeño en servicio de estos materiales están fuertemente influenciados por sus microestructuras, el tamaño y la distribución de las hojuelas de grafito y del tipo de matriz. (Smith, 2006)

En general a observar metalografías de aleaciones de hierro fundido se puede identificar una fase rica en grafito, esto se da por la pobre solubilidad del carbono, que se presenta en la fase de hierro alfa es 0,02% a temperatura de su reacción eutéctica. Al tener un porcentaje considerable de carbono y una cantidad adecuada de silicio, se observa claramente al grafito en la aleación, el cual se agrupa en diferentes formas como se observa en la figura. (Askeland, Fulay, & Wright, 2009)



**Figura 2.** Estructura de grafito en hierros fundidos.  
**Fuente:** (ASTM, A247-16,2016)

Es por ello que en función a esto los hierros se clasifican en:

- ✓ Hierros fundidos blancos.
- ✓ Hierros fundidos maleables.
- ✓ Hierros fundidos grises.
- ✓ Hierros fundidos enfriados rápidamente.
- ✓ Hierros fundidos nodulares.
- ✓ Hierros fundidos aleados.

### **El hierro Fundido Gris**

Este grupo constituye uno de los más utilizados, en su manufactura la tendencia del cementita a separarse en grafito y austenita o ferrita es favorecida controlando la composición de la aleación y la rapidez de enfriamiento, la mayoría de hierros fundidos grises son hipoeutécticos y su contenido de carbono está entre 2.5 y 4%. El proceso de grafitización es ayudado por un alto contenido de carbono y de los elementos de aleación presentes como el silicio, el azufre, el manganeso y el fósforo. (SHACKELFORD, 2005)

Del estudio realizado por Yoel Aguirre-Breffé, Tomás Fernández-Columbié, Ramón Castillo-Matos en base a la caracterización del Hierro Fundido Gris el cual se tomó como punto de partida indica que este tipo de material tiene amplias aplicaciones debido a sus propiedades mecánicas, por lo que en un árbol de levas y con un tratamiento térmico óptimo en la superficie de este permitirá un gran desempeño en el sistema de combustión de los vehículos. (Gonzalez, 2019)

El análisis realizado por Luddey, Marulanda Mesa de las propiedades mecánicas del material se relacionan directamente con la microestructura final (Gonzales, 2003), se obtiene después de la última transformación de fase, cuando la parte ya ha alcanzado la temperatura del ambiente. Sin embargo, el proceso de solidificación también tiene una gran importancia en las características físicas de la fundición, ya que limita la transformación eutectoide posterior a través de factores tales como las micro segregaciones, el tamaño y morfología de los granos. En su estructura micrográfica aparece grafito, que puede ser de diversos tipos, disperso en una matriz (Ferrítica o Perlítica) semejante a la de un acero.

Según Wang y otros investigadores (2006) una característica que caracteriza al hierro gris es que el carbono se encuentra, generalmente, en forma de grafito que adopta formas irregulares, descritas como fractura, en las piezas elaboradas con esta aleación. Las propiedades físicas, y en particular las mecánicas, varían dentro de amplios intervalos y responden a factores como la composición química, la rapidez de enfriamiento después del vaciado, el tamaño y el espesor de las piezas, práctica de vaciado, tratamiento térmico; y parámetros microestructurales como la naturaleza de la matriz y la forma y tamaño del grafito. (Wang, Zhang, & Shi, 2015)

De acuerdo con Fernández-Pariente y Belzunce-Varela (2006), la influencia de los elementos de aleación está relacionada fundamentalmente con el control de la transformación de la austenita. El carbono es, sin lugar a duda, después del hierro, el elemento más importante; se le puede encontrar combinado con el hierro (carbono combinado), en forma de carburo (o cementita con 6,67 % C) o en el estado libre de grafito (carbono libre o grafítico) (Téllez & Diaz, 2009)

En base a los estudios antes realizados por investigadores de gran prestigio se procede a realizar el análisis del Hierro Fundido Gris tomando en cuenta los parámetros antes mencionados los cuales serán de gran ayuda para la comparación de resultados que se obtengan luego de someter las diferentes probetas a los ensayos como: tipo de microestructura, identificación de las

Hojuelas de Grafito, Dureza y análisis de composición en el microscopio electrónico de barrido (SEM).

### Método y Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación se hizo uso del laboratorio de materiales y equipos disponibles en la facultad de mecánica de la ESPOCH. La extracción de las probetas se realizó mediante corte con refrigeración para no dañar las zonas de evaluación.

La caracterización metalográfica parte desde una preparación mediante la Norma ASTM E-3 95 “Preparación de especímenes metalográfico”, se desbasta una de las superficies de las probetas usando lijas 200, 320, 400, 600, 800, 1000, 1500 y 2000 granos por pulgada cuadrada, luego se pule la muestra en el disco de pulido con la ayuda de un abrasivo adecuado (alúmina 1 micra) hasta obtener una superficie tipo espejo, Posterior a ello se realiza un ataque químico de acuerdo a la norma ASTM E407 a fin de revelar la microestructura en el microscopio óptico.

### Tamaño y distribución de las hojuelas de grafito

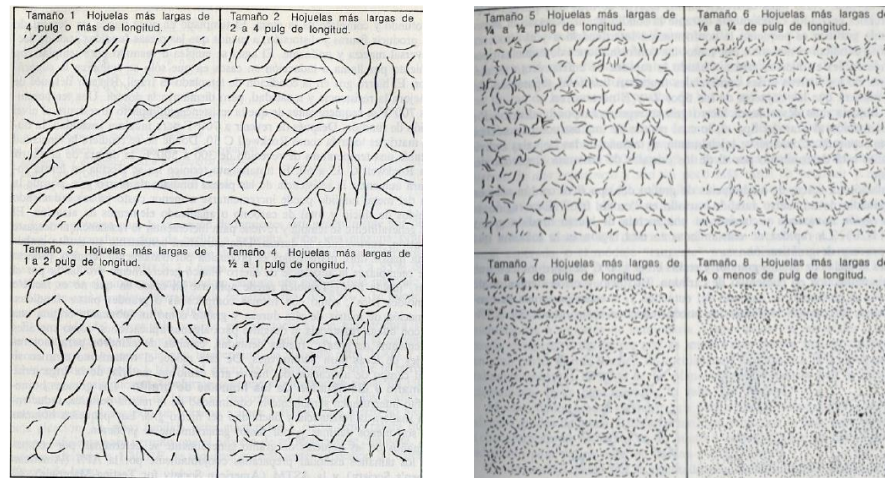
Las hojuelas de grafito juegan un papel muy importante en las propiedades mecánicas de la fundición; así si se tiene hojuelas grandes de grafito reducen la resistencia a la tracción y la ductilidad de la fundición gris, mientras que si se tiene hojuelas pequeñas de grafito serán menos dañinas por lo que se prefieren. [5] Los tamaños de las hojuelas de grafito generalmente se determinan por comparación de los tamaños estándar preparados conjuntamente por la AFS. (American foundry men’s Society) y la ASTM (American Society for Testing Materials)

**Tabla 1.** Tamaño de las hojuelas de grafito.

NÚMERO DEL TAMAÑO DE LA HOJUELA AFS-AST	LONGITUD DE LAS HOJUELAS MÁS LARGAS PULG. A 100X	LONGITUD DE LAS HOJUELAS MÁS LARGAS mm. A 100X
1	4 o mas	128
2	2-4	64
3	1-2	32
4	$1/2 - 1$	16
5	$1/4 - 1/2$	8
6	$1/8 - 1/4$	4
7	$1/16 - 1/8$	2
8	$1/16$ o menos	1

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física AVNER.





**Figura 3.** Longitudes de las hojuelas de grafito.  
**Fuente:** Introducción a la Metalurgia Física AVNER.

### Forma de hojuelas de grafito

Están ordenadas en la microestructura en la fundición gris generalmente se indica como uno o más tipos preparados conjuntamente por la AFS y la ASTM. Aquí muestra los cinco tipos de hojuela.

- Las del tipo A que son las más deseadas en la fundición las cuales son uniformes y tienen una orientación al azar.
- Las de tipo B es común sólo en la región intermedia de un hierro fundido vaciado en frío, esta región se la conoce como región manchada y consiste en la mezcla de hierro fundido gris y blanco.
- Las del tipo C que son pocas, grandes y rectas, siempre indican que el hierro es hipereutéctico en contenido de carbono.
- Las del tipo D y E son indeseables en hierros fundidos, puesto que por el alto contenido de grafito debilitan el material.



**Figura 4.** Tipos de hojuelas.  
**Fuente:** Introducción a la Metalurgia Física AVNER.

Para la Dureza Brinell se utiliza una bola de acero templado, en el cual se emplean un indentador con diámetro (D) de 2,5, 5 o 10 mm y una fuerza (P) aplicada contra el material a ensayar de acuerdo con la Norma ASTM E10, garantizando que se cumpla con:

$$C = \frac{P}{D^2} = 30$$

**Ecuación 1.** Relación carga – diámetro indentador

El tiempo de aplicación fue de 10 a 30 segundos y una precarga de 100 N, después de liberar la carga se mide el diámetro (d) de la huella con un dispositivo amplificador óptico. Este procedimiento es apropiado sólo para materiales blandos y así mismo para materiales con macroestructura heterogénea como las fundiciones.

Para el ensayo se utilizó un diámetro del indentador de D=2,5mm; el cual se debería aplicar una carga de 187,5 kgf.

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

**Ecuación 2.** Dureza Brinell

Donde:

$P$ : carga aplicada en kgf

$D$ : diámetro de la bola del indentador en mm

$d$ : diámetro medio de la huella en mm

A partir de la dureza Brinell, es posible cuantificar aproximadamente la resistencia a la tracción mediante la siguiente relación:

$$\sigma = 0,1 \text{ HB}$$

**Ecuación 3.** Esfuerzo a la tracción

Donde:

$\sigma$ : esfuerzo a la tracción

La dureza Brinell se denota como **HB**, pero con la adición de sufijos que indiquen el diámetro de la bola, la carga y el tiempo de aplicación de la misma. Por ejemplo: xx HB 10/187,5/30. Esta notación indica una dureza Brinell de xx medida con una bola de 10 mm de diámetro y una carga de 187,5 kgf. aplicada durante 30 s.

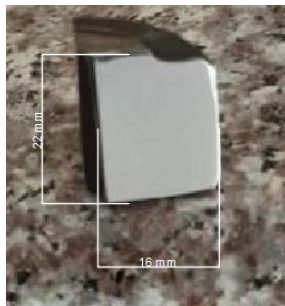
Se realizó este ensayo mediante la Norma ASTM E10-15 “Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials” la cual exige preparar la probeta obteniendo dos superficies planas y paralelas por la norma de desbaste mediante ASTM E-3 95 “Preparación de especímenes metalográfico”, En la superficie de un material se presiona contra la probeta una bola de acero con determinado diámetro  $D$ , Se mantiene el indentador algún tiempo bajo la carga  $P$ , Se retira la carga y se miden dos diámetros, en direcciones mutuamente perpendiculares, con ayuda de un microscopio, Se sustituyen los valores en la fórmula para obtener el valor de la dureza Brinell, Repetir en las mismas condiciones 2 indentaciones más, para poder tener un promedio.

## Resultados y Discusión

### *Determinación de la microestructura del árbol de levas*

- *Sección Longitudinal*

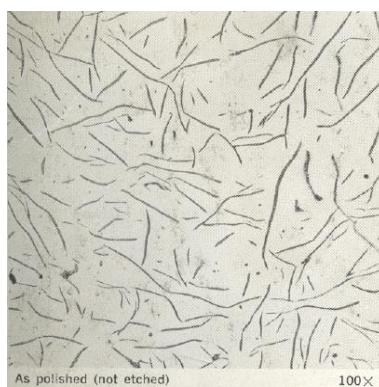
Se realizó un desbaste mediante ASTM E-3 95 “Preparación de especímenes metalográfico”



**Figura 5.** Área longitudinal del árbol de levas, después del desbaste para la observación de la microestructura.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 6.** Fotomicrografía de la estructura de Hierro Fundido Gris del área longitudinal de la probeta tomada a 110x (sin ataque químico), zona negra (hojuelas de grafito).  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 7.** Distribución de tipo A de escamas de grafito en Hierro Fundido Gris a 100x. Caracterizada por distribución y orientación aleatoria.  
**Fuente:** Metals handbook, vol 7 “Atlas of microstructures”, “Cast Irons”, American Society for metals, 1972.)

Se realizó la comparación de la fotomicrografía obtenida de la probeta ensayada, con una imagen obtenida del documento característico Metal HandBooks.

Se comprobó que la probeta ensayada es un hierro fundido gris mediante la microestructura obtenida en la cual se observa hojuelas de grafito (área negra).

**Tabla 2.** Medidas para transformar a micras la imagen mediante el software ImageJ.

Medida promedio en pixeles escalado
534,250

**Tabla 3.** Longitud en micras de las hojuelas de grafito en la probeta mediante el software ImageJ.

Medida promedio en micras escalado
24077,293

Para realizar una comparación con la Tabla 3. el valor de la longitud se debe transformar a pulgadas, obteniendo un tamaño de hojuela 3.

$$24077.293 \text{ micras} \frac{1 \text{ in}}{25400 \text{ micras}} = 0.9479 \text{ in}$$

- *Sección Transversal*

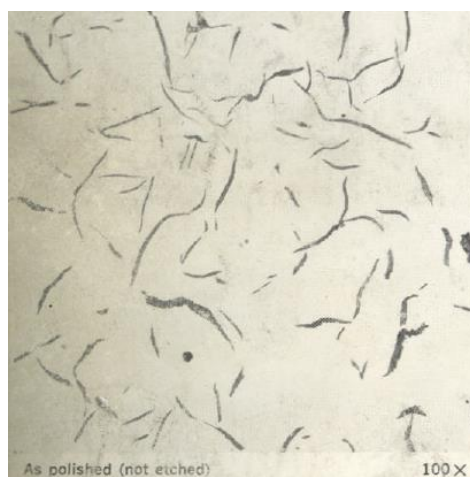
Se realizó un desbaste mediante ASTM E-3 95° Preparación de especímenes metalográfico



**Figura 8.** Área Transversal del árbol de levas, después del desbaste para la observación de la microestructura.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 9.** Fotomicrografía de la estructura de Hierro Fundido Gris del área transversal de la probeta tomada a 110x (sin ataque químico), zona negra (hojuelas de grafito).  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 10.** Aleación de Hierro Fundido Gris (3.26 C, 1,75 Si, 0.06 P, 6.11 S, 0.63 Mn, 0.35 Cr, 0.98 Mo, 0.064 Sn) como arena fundida. Hojuelas de grafito tipo A  
**Fuente:** Metals handbook, vol 7 “Atlas of microstructures”, “Cast Irons”, American Society for metals, 1972.)

Se realizó la comparación de la fotomicrografía obtenida de la probeta ensayada, con una imagen obtenida del documento característico Metal HandBooks.

Se comprobó que la probeta ensayada es un hierro fundido gris mediante la microestructura obtenida en la cual se observa hojuela de grafito (área negra).

**Tabla 4.** Medidas para transformar a micras la imagen mediante el software ImageJ.

Medida promedio en pixeles escalado
434,789

**Tabla 5.** Longitud en micras de las hojuelas de grafito en la probeta mediante el software ImageJ.

Medida promedio en micras escalado
36759,28

Para realizar una comparación con la Tabla 3. el valor de la longitud se debe transformar a pulgadas, obteniendo un tamaño de hojuela 3.

$$36759.298 \text{ micras} \frac{1 \text{ in}}{25400 \text{ micras}} = 1.4472 \text{ in}$$

***Probeta atacada químicamente***

Se realizó un desbaste mediante ASTM E-3 95 “Preparación de especímenes metalográfico, luego se realizó un ataque químico mediante la norma ASTM E407-07 “Standard Practice for Micro etching Metals and Alloys”



**Figura 11.** Fotomicrografía de la estructura de Hierro Fundido Gris del área transversal de la probeta tomada a 444x, atacada químicamente con nital al 2% durante cinco segundos; zona negra (hojuelas de grafito), zona gris (matriz perlítica).

**Fuente:** Elaboración propia.



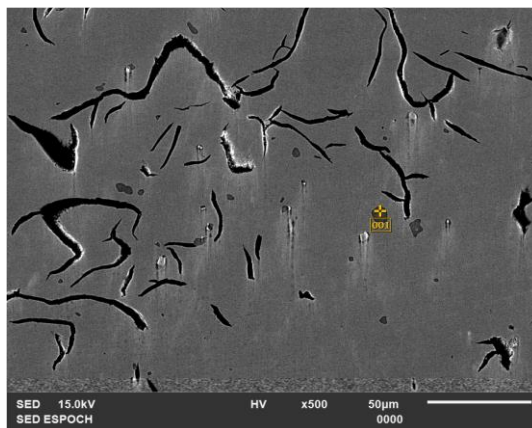
**Figura 12.** Fundición de hierro gris clase 30. Estructura tipo A Escamas de grafito en una matriz de perlita (láminas alternas de ferrita de grabado claro y cementita más oscura), a 500x.

**Fuente:** Metals handbook, vol 7 “Atlas of microstructures”, “Cast Irons”, American Society for metals, 1972.)

Se realizó la comparación de la fotomicrografía de la probeta ensayada ya con un ataque químico (compuesto Nital 2%), con una imagen obtenida del documento característico Metal HandBooks. En el resultado se obtuvo imágenes muy semejantes lo cual permite validar que las prácticas realizadas son correctas.

### **Composición química**

Se utilizó una probeta de hierro fundido gris para la determinación de los elementos presentes en la fundición mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM), del laboratorio de materiales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido los siguientes resultados



**Figura 13.** Análisis de la superficie en un punto donde existen hojuelas de grafito mediante el Microscopio de Barrido Electrónico (SEM), a 500x.

**Fuente:** Elaboración propia.

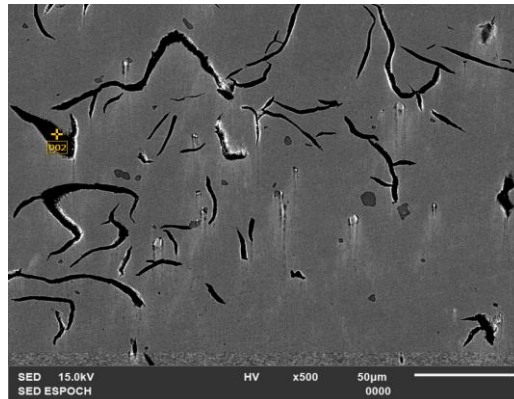


**Tabla 6.** Porcentajes de los elementos que componen el hierro fundido gris.

Formula	Mass %	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	3.21	26.831	0.14	252	0.0055379	K
S	11.37	35.64	0.07	10740	0.1151156	K
Mn	20.52	37.53	0.18	5065	0.1858814	K
Total	35.10	100.00				

Este tipo de material tiene elementos adicionales además del carbono por lo cual se realizó un análisis en la superficie fuera de las hojuelas de grafito encontrándose elementos como el Azufre y Manganeso que en este tipo de material se presentan como Sulfuros de Manganeso.

- *Hojuelas de Grafito*



**Figura 14.** Análisis de la superficie sobre una hojuela de grafito mediante el Microscopio de Barrido Electrónico (SEM), a 500x.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 7.** Porcentajes de los elementos que componen el grafito.

Formula	Mass %	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	20.73	100.00	0.12	9415	0.2072407	K
Total	20.73	100.00				

La forma y distribución de las partículas de carbono sin combinar influye en forma determinante sobre las propiedades mecánicas del hierro fundido Gris ya que se presenta en forma de Hojuelas de Grafito las cuales si son demasiadas va afectar directamente a las propiedades físicas del material.

#### ***Determinación del tamaño y el tipo de las hojuelas de grafito***

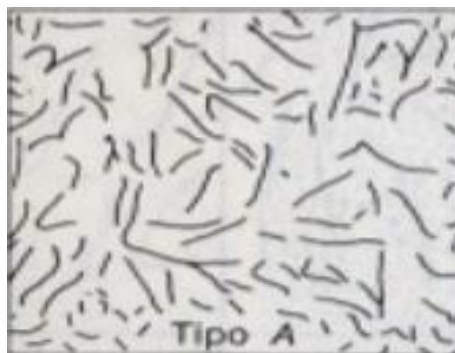
- Sección Longitudinal

Con el valor obtenido de **0.9479 in** se procede a comparar con la figura 3 Longitudes de las Hojuelas de Grafito logrando así identificar el intervalo de valores en el que se encuentra y tenemos unas hojuelas de grafito obtenidas en la práctica del tamaño 4.



**Figura 15.** Longitud de las hojuelas de grafito de tamaño 4.  
**Fuente:** Introducción a la Metalurgia Física AVNER.

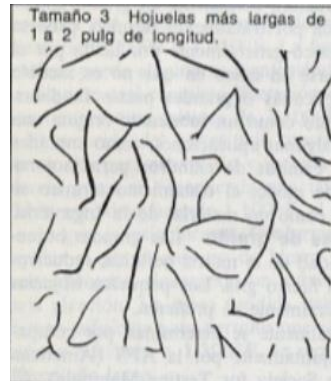
El tipo de hojuelas presentes en la microestructura de un hierro fundido son muy importantes por lo que se analiza la figura 7 obtenida de la probeta ensayada y se le hace la comparación con la figura 5 Tipos de Hojuelas de Grafito pudiendo decir que la fotomicrografía obtenida en el microscopio se asemeja a la del tipo A por la forma y distribución de las hojuelas.



**Figura 16.** Tipo de hojuelas de Grafito de la probeta ensayada.  
**Fuente:** Introducción a la Metalurgia Física AVNER.

- Sección Transversal

Con el valor obtenido de  $1.4472\text{in}$  se procede a comparar con la figura 3 Longitudes de las Hojuelas de Grafito logrando así identificar el intervalo de valores en el que se encuentra y tenemos unas hojuelas de grafito obtenidas en la práctica del tamaño 3.



**Figura 17.** Longitud de las hojuelas de grafito de tamaño 3.  
**Fuente:** Introducción a la Metalurgia Física AVNER.

El tipo de hojuelas presentes en la microestructura de un hierro fundido son muy importantes por lo que se analiza la figura 10 obtenida de la probeta ensayada y se le hace la comparación con la figura 5 Tipos de Hojuelas de Grafito pudiendo decir que la fotomicrografía obtenida en el microscopio se asemeja a la del tipo A por la forma y distribución de las hojuelas.



**Figura 18.** Tipo de hojuelas de Grafito de la probeta ensayada.  
**Fuente:** Introducción a la Metalurgia Física AVNER.

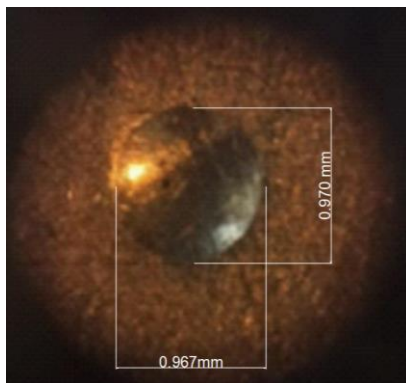
### *Dureza*

- Dureza Brinell

Se realizó la caracterización en la probeta de hierro fundido empleando la técnica de determinación de dureza Brinell.

Se realizó 3 indentaciones las cuales tienen forma circular con el fin de realizar un promedio y obtener el valor de la dureza más aproximado posible.

Luego se procedió a medir los diámetros de las huellas generadas por el indentador.



**Figura 19.** Huella generada por el indentador.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Se obtuvieron los diámetros formados por el indentador en la probeta de hierro fundido

**Tabla 8.** Datos obtenidos de los diámetros del indentador, de las tres huellas.

Primera huella en el eje x	0,97 mm
Primera huella en el eje y	0,975 mm
Segunda huella en el eje x	0,965 mm
Segunda huella en el eje y	0,97 mm
Tercera huella en el eje x	0,965 mm
Tercera huella en el eje y	0,965 mm
Promedio	0,968 mm

Cálculo de la dureza Brinell.

Mediante la ecuación 2, se obtuvo el siguiente valor de dureza

$$HB = 254,764 \frac{kgf}{mm^2}$$

Dureza Brinell obtenida de la probeta no es muy alta.

Mediante la ecuación 2, se obtuvo el siguiente valor de esfuerzo

$$\sigma = 25,47 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

## Conclusiones

El desbaste adecuado en el área longitudinal tanto como del área transversal es muy importante para observar que tipo de microestructura y material es el que se está sometiendo al estudio.

Mediante el análisis en el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) se observó que tenía además del carbono elementos como el Manganeso y azufre lo cual podemos decir que se tratan de sulfuros atrapados durante el proceso de obtención del material.

El tiempo adecuado y el compuesto correcto para el ataque químico son de suma importancia ya que así se logrará visualizar de mejor manera la microestructura que se presente y por ende se facilitará la determinación del tipo de matriz.

La comparación de las fotomicrografías tomadas en el laboratorio con las de los documentos característicos es muy relevante en este tipo de estudio ya que así se afirma que los procedimientos aplicados son los correctos y además así se puede evidenciar el tipo de estructura presente en la probeta sometida a los ensayos y si existe o no similitud, en nuestro caso se observa que son muy parecidas.

## Referencias

1. Askeland, Fulay, & Wright. (2009). Ciencia e ingeniera de materiales. En Askeland, Fulay, & Wright, Ciencia e ingeniera de materiales (págs. 574-576). Mexico: CENGAGE Learning.
2. Avner, S. (1998). Introducción a la Metalurgia Física. Mexico: McGRAW HILL.
3. Callister, W. (207). Ciencia e Ingenieria de los Materiales . En W. Callister, Ciencia e Ingenieria de los Materiales (págs. 370-377). New York: REVERTE, S.A.
4. Fermadez-Priente, I., Belzunce-Varela, & Luis. (2006). Influencia de diversos tratamientos térmicos en la microestructura de una fundición lanca con alto contenido en cromo. Revista de Metalurgia, 279-286.
5. Font, M., & Hernandez, F. (2008). Recondicionamiento de piezas de hierro fundido por tratamiento térmico (I Parte). Revista Ciencias Holguín, vol. XIV, núm. 2, 1-5.

6. Gonzales, J. (2003). Metalurgia Mecanica. En J. Gonzales, Metalurgia Mecanica (págs. 232-233). Mexico, D.F: LIMUSA, S.A.
7. Gonzalez, I. (2019). Microestructura del hierro fundido gris FG 24 sometido a tratamiento térmico. Revista Minería y Geología, 100-112.
8. Harvey, J., & G, N. (2007). Inoculation of Cast Irons: An Overview. Indian Foundry Congress, 343-360.
9. Myszka, D. H. (2012). Máquinas y Mecanismos. México: PEARSON EDUCACIÓN.
10. Norton, R. L. (2009). Diseño de Maquinaria. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
11. Pero-Sanz, J. (2006). Ciencia de los Materiales: Metalurgia Física, Estructura y Propiedades. Madrid: DUSSAT.
12. Ramirez, R., Gonzalez, I., Roman, J., & Jose, V. (2012). Microscopia electrónica de barrido. Methods in Enzymology, 1-16.
13. Rodriguez, F., Dardati, P., Godoy, L., & Celentano, D. (2015). Evaluación de propiedades elásticas de la fundición nodular empleando micromecánica computacional. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 91-105.
14. SHACKELFORD, F. (2005). Introduccion a la ciencia e ingenieria de materiales. Madrid : PEARSON EDUCACION, S.A.
15. Shigley, J. E., & Uicker, J. J. (1988). Teoría de Máquinas y Mecanismos. México: MCGRAW-HILL.
16. Smith, W. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingenieria de los materiales . Mexico: Mc Graw Hill INTERAMERICANA EDITORES .
17. Suter, G., Michae, D., & Ronal, J. (1987). España Patente nº 2 0007 075.
18. Téllez, G., & Diaz, J. (2009). Análisis de falla del árbol de levas de un motor de. Revista Iteckne, 1692-1798.
19. Wang, Z., Zhang, S., & Shi, L. (2015). Creep deformation of ductile cast iron cooling staves. Ironmaking & Steelmaking , 339-354.

© 2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).