

**PATRONES METALOGRAFICOS DE FUNDICION GRIS, BASADOS EN  
POSIBLES FALLAS EN EL PROCESO DE FUNDICION EN HORNOS DE  
CUBILOTE**

**JOHN JAIRO YEPES PALACIO  
LUIS FELIPE GALLEGO GONZALEZ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2012**

**PATRONES METALOGRAFICOS DE FUNDICION GRIS, BASADOS EN  
POSIBLES FALLAS EN EL PROCESO DE FUNDICION EN HORNOS DE  
CUBILOTE**

**JOHN JAIRO YEPES PALACIO  
LUIS FELIPE GALLEGU GONZALEZ.**

**Proyecto de grado para optar al título de:  
Tecnólogo de Mecánico Industrial**

**Asesor  
Alfonso Luis Agudelo Vegliante  
Ingeniero Metalúrgico, Dipl, Especialista, MSc**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2012**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradecemos a Dios por darnos la salud y la sabiduría para obtener el título de tecnólogo mecánico industrial y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización del trabajo final de grados.

Se agradece a nuestras familias por el apoyo incondicional que tuvieron durante estos años de estudio.

Se agradece al profesor asesor técnico, Ing. Héctor Darío Sánchez, por sus orientaciones y sus consejos en el desarrollo del Proyecto Final de Graduación y al asesor temático Ing. Alfonso Luis Agudelo Vegliante.

## CONTENIDO

INTRODUCCION.....	20
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	21
1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	21
2. JUSTIFICACION.....	22
3. OBJETIVOS .....	23
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4. MARCO TEÓRICO .....	24
4.1 FUNDICIÓN DE HIERRO GRIS .....	24
4.2 COMPOSICIÓN .....	28
4.2.1 Los elementos principales de las fundiciones grises.....	28
4.2.2 Elementos de menor importancia en las fundiciones gris.....	30
4.2.3 Traza de elementos .....	33
4.3 MORFOLOGÍA DEL GRAFITO.....	37
4.3.1 Microestructura de la matriz perlítica .....	39
4.3.2 Fundición perlítica.....	40
4.3.3 Efecto del tamaño de la selección.....	40
4.4 ESTRUCTURA DE LA MATRIZ .....	41
4.6 EFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN LAS FUNDICIONES. .	54
5 DISEÑO METODOLOGICO.....	57
5.1 METODO.....	57
5.2 METODOLOGIA .....	57
5.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACION DE INFORMACION ...	57
5.3.1 Fuentes primarias .....	58
5.3.2 Fuentes secundarias.....	58
5.4 PROCEDIMIENTO .....	58
5.4.1 Corte, preparación de la muestra.....	58
5.4.2 Corte de la muestra .....	58
5.4.3 Desbaste a mano.....	59
5.4.4 Pasos del desbaste y pulido .....	60
5.4.5 Ataque químico.....	63

6 RESULTADOS .....	65
6.1 ANÁLISIS QUÍMICO .....	65
6.2 RESULTADOS METALOGRAFICOS .....	66
7. CONCLUSIONES .....	94
RESUMEN.....	95
BIBLIOGRAFIA.....	96
CIBERGRAFIA .....	96
ANEXOS .....	97

## LISTAS DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de las fundiciones según el % de carbono y silicio.	28
<b>Tabla 2.</b> Efectos, niveles y las fuentes de algunos elementos que trazan en la fundición gris.	33
<b>Tabla 3.</b> Influencia de los diversos elementos aleados ejercen sobre la formación del grafito y de los carburos y sobre las características de la matriz.	55
<b>Tabla 4.</b> Análisis químico.	65

## LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Microestructura del hierro gris (ferrita y perlita).	24
<b>Figura 2.</b> Diagrama de equilibrio hierro – carbono.	29
<b>Figura 3.</b> Efecto de azufre en el recuento de células eutécticas y la profundidad de enfriamiento para inocular y no inoculados en la fundición hierros grises.	32
<b>Figura 4.</b> Tamaño y forma (tipo), del grafito laminar presente en la fundición gris.	38
<b>Figura 5.</b> Clasificación ASTM A – 247 del tamaño de grafito laminar, visto y analizado a 100 aumentos.	39
<b>Figura 6.</b> Grafito y perlita revelado con un 2% Nital. La ferrita se encuentra con grafito.100X.	41
<b>Figura 7.</b> Cementita atacado con el 4% de Nital. La fase blanca es el carburo.	42
<b>Figura 8.</b> La microestructura de donde se observa la presencia de esteadita.	43
<b>Figura 9.</b> La microestructura donde se observa la presencia sulfuro de manganeso	44
<b>Figura 10.</b> Sulfuro de manganeso (gris oscuro, redondeadas) y carbonitruro de titanio (gris claro, angular) inclusiones. Revelado al 2% Nital. 500X.	45
<b>Figura 11.</b> Hierro gris, mostrando un tipo de distribución de láminas de Grafito (distribución uniforme al azar) pulido 100 X.	46

<b>Figura 12.</b> Hierro gris, muestra la distribución de grafito tipo B (agrupación De rosetas y la orientación al azar) pulido 100 X.	46
<b>Figura 13.</b> Hierro gris, muestra el tipo de distribución de grafito C se Caracteriza por tamaño de las escamas superpuestas y al azar orientación. 100X.	47
<b>Figura 14.</b> Hierro gris, muestra el tipo de distribución de grafito D (segregación interdendrítica y orientación al azar). 100X.	47
<b>Figura 15.</b> Hierro gris, muestra el tipo E de distribución de grafito, se caracteriza por la distribución interdendrítica. 100X.	48
<b>Figura 16.</b> Hierro gris, la estructura es de tipo A, copos de grafito es una matriz perlítica. 3% Nital. 500X.	48
<b>Figura 17.</b> Fundición gris clase 30, fundido en molde permanente, recocido 45 minutos a 885° C (1625°F). Dendritas de ferrita y grafito tipo D en una matriz de ferrita. 3% Nital. 100X.	49
<b>Figura 18.</b> Fundición gris clase 50. La matriz es perlita fina con algunos carburo libre (blanco) que puede haber resultado de solidificación rápida. 2% Nital. 750X.	49
<b>Figura 19.</b> Fundición gris, fundición de arena. La estructura consiste en una quebrada red de esteadita en una matriz de perlita fina. 5% Nital. 500X.	50
<b>Figura 20.</b> Tipo de un grafito en una matriz e perlita, con algunos carburos libre de color blanco. (100X).	50
<b>Figura 21.</b> Mayor aumento (500 X) muestra una matriz perlítica contiene láminas finas y gruesas. Nital 4%.	51
<b>Figura 22.</b> Fundición gris clase 30 (Fe - 3.54C - 2.17Si), austenizado a 870°C (1600°F). Tipo de grafito martensita (oscuro), algunas partículas de carburo de	51



silicio (luz, se indica), y austenita retenida (blanco). 2% Nital.500X.

**Figura 23.** Igual que Fig. 22, con excepción de revenido a 480°C (900°) después del temple. Grafito tipo A en una matriz de martensita revenida. Compárese con la figura. 26. 2% Nital. 500X. 52

**Figura 24.** Lo mismo que la figura. 22, con excepción de templado a 540°C (1000°F) después del temple. Un tipo de copos de grafito en una matriz de martensita revenida. 2% Nital. 500X. 52

**Figura 25.** Fundición gris clase 30B, con áreas de esteadita (eutéctica de partículas pequeñas, redondeadas en color claro de ferrita) y Un tipo de grafito en una matriz de perlita. 3% Nital. 1500X. 53

**Figura 26.** Fundición gris, con una estructura anormal de grafito tipo B y el exceso de ferrita en la matriz de perlita. Esta microestructura como resultado poca fuerza y resistencia al desgaste. 4% Nital. 100X. 53

**Figura 27.** Fundición gris perlítica, grafito tipo A, con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X. 66

**Figura 28.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A, B y C con presencia de esteadita. Nital 2%. 67

**Figura 29.** Fundición gris predomina matriz perlítica grafito tipo A. Nital 2%. 50X. 67

**Figura 30.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X. 68

**Figura 31.** Fundición gris perlítica grafito tipo B con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X. 68

<b>Figura 32.</b> Fundición gris perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.	69
<b>Figura 33.</b> Fundición gris, perlítica grafito tipo B con esteadita. Nital 2%. 10X.	69
<b>Figura 34.</b> Fundición gris, grafito tipo B con esteadita y carburos disueltos. Nital 2%. 10X.	70
<b>Figura 35.</b> Fundición gris, grafito tipo A y C. sin ataque. 5X.	70
<b>Figura 36.</b> Fundición gris, grafito tipo B sin ataque. 5X.	71
<b>Figura 37.</b> Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B y C, con presencia de esteadita.	71
<b>Figura 38.</b> Fundición gris, matriz perlítica con esteadita. Nital 2%. 20X.	72
<b>Figura 39.</b> Fundición gris 50%perlítica y 50 % ferrítica. Nital 2%. 20X.	72
<b>Figura 40.</b> Fundición gris predominantemente ferrítica. Nital 2%. 20X.	73
<b>Figura 41.</b> Fundición gris, matriz perlítica, presenta precipitados de esteadita. Nital 2%. 50X.	73
<b>Figura 42.</b> Fundición gris matriz perlítica con esteadita.	74
<b>Figura 43.</b> Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo BNital 2%. 5X.	74
<b>Figura 44.</b> Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B con esteadita. Nital 2%. 10X.	75
<b>Figura 45.</b> Fundición gris matriz perlítica, con esteadita Nital 2%. 50X.	75

<b>Figura 46.</b> Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B con carburos disueltos.Nital 2%.5X.	76
<b>Figura 47.</b> Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo B con esteadita.Nital 2%. 10X.	76
<b>Figura 48.</b> Fundición gris matriz perlítica,grafito tipo B con esteadita. Nital 2%. 20X.	77
<b>Figura 49.</b> Fundición gris perlítica, con esteadita. Nital 2%. 20 X.	77
<b>Figura 50.</b> Fundición gris, matriz perlítica, con esteadita. Nital 2%. 50X.	78
<b>Figura 51.</b> Fundición gris,matriz perlítica, grafito tipo B, con carburos dispersos. Nital 2%.5X.	78
<b>Figura 52.</b> Fundición gris, grafito tipo B, tamaño 6, sin ataque. 10X.	79
<b>Figura 53.</b> Fundición gris, grafito tipo A sin ataque. 5X.	79
<b>Figura 54.</b> Fundición gris, matriz perlítica, gafito tipo B. Nital 2%. 10X.	80
<b>Figura 55.</b> Fundición gris, grafito tipo B tamaño 5 sin ataque.	80
<b>Figura 56.</b> Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo A y B. Nital 2%. 10X.	81
<b>Figura 57.</b> Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B. Nital 2%.10X.	81
<b>Figura 58.</b> Fundición gris, matriz perlita, grafito tipo B, con esteadita. Nital 2%. 10X.	82
<b>Figura 59.</b> Fundición gris, matriz perlítica. Nital 2%. 20X.	82

<b>Figura 60.</b> Fundición gris, matriz perlítica gruesa. Nital 2%. 50X.	83
<b>Figura 61.</b> Fundición gris, grafito tipo A, tamaño 4 sin ataque. 10X.	83
<b>Figura 62.</b> Fundición gris perlítica, grafito tipo A, con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.	84
<b>Figura 63.</b> Fundición gris, perlítica, grafito tipo A, con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.	84
<b>Figura 64.</b> Fundición gris, grafito tipo A y tamaño 4. sin ataque. 10X.	85
<b>Figura 65.</b> Fundición gris, grafito tipo B y tamaño 6. Sin ataque. 10X.	85
<b>Figura 66.</b> Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B, con carburos disueltos. 10X.	86
<b>Figura 67.</b> Fundición gris, grafito tipo C y tamaño 4. sin ataque 10 X.	86
<b>Figura 68.</b> Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.	87
<b>Figura 69.</b> Fundición gris perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X	87
<b>Figura 70.</b> Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A. Nital 2 %. 20X.	88
<b>Figura 71.</b> Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo D. Nital 2 %. 20X.	88
<b>Figura 72.</b> Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.	89

<b>Figura 73.</b> Fundición gris perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.	89
<b>Figura 74.</b> Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita. 20 X.	90
<b>Figura 75.</b> Fundición gris, grafito tipo C y tamaño 4, sin ataque. 10 X.	90
<b>Figura 76.</b> Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.	91
<b>Figura 77.</b> Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.	91
<b>Figura 78.</b> Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.	92
<b>Figura 79.</b> Fundición gris, matriz perlita, con presencia de esteadita. Nital 2 %. 20X.	92
<b>Figura 80.</b> Fundición gris, matriz perlítica gruesa, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.	93
<b>Figura 81.</b> Fundición gris, matriz perlítica gruesa, grafito tipo A. Nital 2%. 20X.	93

## GLOSARIO

**CARBURO:** compuesto de carbono con uno a más elementos metálicos

**CEMENTITA:** es un constituyente de los aceros, y otras aleaciones férreas como las fundiciones blancas, que aparece cuando el enfriamiento de la aleación sigue el diagrama metaestable Fe-Fe<sub>3</sub>C en vez de seguir el diagrama estable hierro-grafito. La cementita tiene un 6,67% en peso de carbono, y es un compuesto intermetálico de inserción.

**DIAGRAMA DE FASE:** representación grafica de los de los limites de temperatura y composición de campos de fase en un sistema de aleación como realmente existes bajo las condiciones especificas de calentamiento o enfriamiento.

**DUCTILIDAD:** capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse, medida por la elongación o reducción de área en una prueba ténsil.

**ESTEADITA:** constituyente estructural dura de hierro fundido que consta de un eutéctico binario de ferrita (con algo de fosforo en solución) y fosforo de hierro (Fe<sub>3</sub>P). La composición del eutéctico es 10.2% de P y 98.8 de Fe y la temperatura de fusión es 1920°F.

### **EUTECTICO:**

- a) Reacción isotérmica reversible en que una solución líquida se convierte en dos o más sólidos íntimamente mezclados al enfriar, cuyo número de sólidos formados es el mismo que el de componentes que integran el sistema.
- b) Aleación que contiene la composición indicada por el punto eutéctico en un diagrama de equilibrio.

c) Estructura aleada a base de constituyentes intermezclados sólidos formados por una reacción eutéctica.

**FERRITA:** solución sólida de uno a más elementos en hierro cúbico centrado en el cuerpo, a menos que se designe lo contrario, en general se supone que el soluble es el carbono. En algunos diagramas de equilibrio hay dos regiones ferríticas, separadas por un área austenítica. El área es ferrítica alfa, en tanto que es ferrítica delta. Si no hay designación, se supone que es ferrita alfa.

**FRAGILIDAD:** calidad de un material que da lugar a la prolongación de fisuras sin deformación plástica apreciable.

**GRATIFICACION:** formación del grafito en hierro o acero. Donde se forma grafito durante la solidificación, el fenómeno se llama grafitización primaria, donde se forma más tarde por tratamiento térmico, grafitización secundaria.

**GRAFITIZAR:** recocer una aleación ferrosa en tal forma que alguna parte o todo el carbono se precipite como grafito.

**HIERRO FUNDIDO:** hierro que contiene carbono en exceso de la solubilidad en la austenita que existe en la aleación a la temperatura eutéctica. Para diversas formas, como hierro gris fundido, hierro blanco, hierro maleable fundido y hierro nodular fundido.

**HIERRO GRIS FUNDIDO:** hierro fundido que da una fractura gris, debido a la presencia de grafito en hojuelas.

**INACULACION:** adición de un material al metal fundido para formar núcleos por cristalización.

**MALEABILIDAD:** característica de los metales que permite una deformación plástica en compresión sin ruptura.

**MATRIZ:** fase o agregado principal en que se introduce otro constituyente.

**METALOGRAFÍA:** la metalografía es la ciencia que estudia las características micro estructural o constitutivo de un metal o aleación relacionándolas con las propiedades físicas, químicas y mecánicas.

**MICROESTRUCTURA:** estructura de metales pulidos y atacados química mente, revelada por un microscopio.

**PERLITA:** microestructura formada por capas o láminas alternas de las dos fases ( $\alpha$  y cementita) durante el enfriamiento lento de un acero a temperatura eutécticoide. Se le da este nombre porque tiene la apariencia de una perla al observarse microscópicamente a pocos aumentos.

**SEGREGACION DENDRITICA:** composición variable entre el centro y la superficie de una unidad de estructura (como dendrita, grano, partícula de carburo) resultante del crecimiento fuera de equilibrio que ocurre sobre un intervalo de temperatura.

**SOLIDIFICACIÓN:** es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia de líquido a sólido producido por una disminución en la temperatura. Es el proceso inverso a la fusión.



## INTRODUCCION

La revisión de la literatura en el campo de la fundición se ha considerado uno de los procesos de fabricación más importantes en la manufactura de piezas metálicas. Este proceso se remonta cerca de 2000 años a.c., y ha tenido grandes repercusiones en la historia debido a su gran uso en la industria y tecnología. Y es precisamente, el estudio de un tipo de fundición lo que conlleva a la realización de este proyecto, el cual es una aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en el programa de la tecnología mecánica.

Para analizar esta problemática es necesario hacer unos análisis metalográficos a cierta cantidad de muestra patrones donde nos arrojará información de tipos de defectos, que se presentan en la elaboración de las fundiciones o también en patrones donde nos dará información de buena calidad.

El interés de esta problemática estará enfocado en realizar un material didáctico para que los estudiantes de la asignatura de procesos de fundición refuercen el aprendizaje y asimilen como se presenta microscópicamente en una estructura metalográfica.

## **1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

En este proyecto se realizaran patrones metalográficos de fundición gris, basados bien sea o no en posibles fallas originadas en procesos de fundiciones en el hornos de cubilote, del instituto tecnológico pascual bravo cuyos patrones serán obtenidos mediante muestras físicas de un proceso de fundición y se realizará a cada una de las probetas un análisis metalográficos y este llevara unas ficha técnica donde se podrá comprender posibles defectos de calidad basados bajo la norma ASTM hierro gris clase 30, y dependiendo de su estructura metalográfica se facilitara el aprendizaje más detallado a los estudiantes que cursaran la asignatura de procesos de fundición de la tecnología mecánica del Instituto Tecnológico Pascual Bravo.

### **1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Podrán reconocer los estudiantes del Tecnológico Pascual Bravo Institución Universitaria, la asignatura procesos de fundición, como se presentan los defectos en los procesos de fundición microscópicamente por medio de un muestrario donde se podrá observar sus posibles fallas?

## **2. JUSTIFICACION**

La ejecución de este proyecto permitirá adquirir un nuevo sistema de aprendizaje de detección de posibles fallas presentes en los procesos de fundición como tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tiene gran efecto en las propiedades mecánicas del metal en este caso la fundición gris, ayudando el proceso de formación y aprendizaje a los estudiantes del instituto tecnológico pascual bravo.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Dotar e implementar el laboratorio de materiales del Instituto Tecnológico Pascual Bravo Institución Universitaria, de muestras patrones de fundición gris, fundidas en el taller de la institución, que permitan profundizar el proceso de enseñanza y aprendizaje en el área.

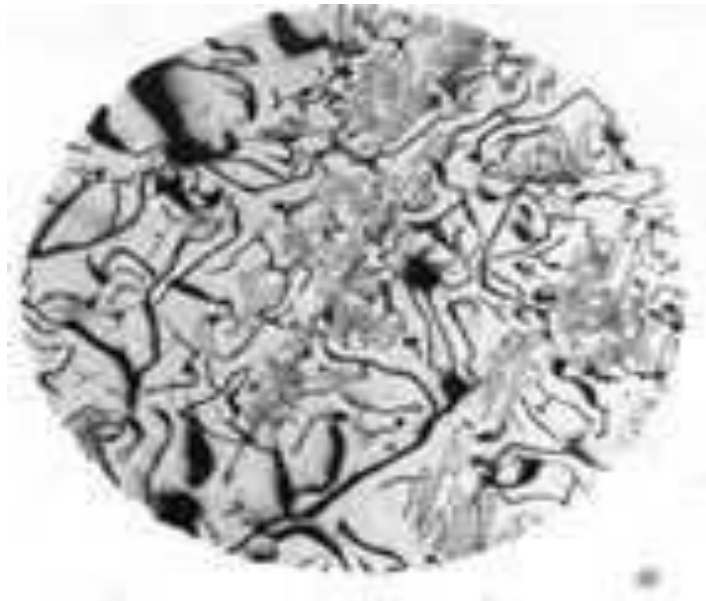
#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Obtener muestras patrones de un proceso de fundición vaciadas en el taller de fundición del Instituto Tecnológico Pascual Bravo Institución Universitaria.
- ✓ Preparar las probetas patrones para el pulido y observar la estructura metalográfica de cada una de ellas.
- ✓ Realizar el análisis de composición química de una muestra patrón para determinar si cumple con la norma ASTM hierro gris de clase 30.
- ✓ Elaborar las fichas técnicas, donde se describirá el análisis de las posibles fallas de cada probeta en su proceso de fundición.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 FUNDICIÓN DE HIERRO GRIS

**Figura 1.** Microestructura del hierro gris (ferrita y perlita)



Las fundiciones de hierro son aleaciones de hierro carbono del 2 al 5%, cantidades de silicio del 2 al 4%, del manganeso hasta 1%, bajo azufre y bajo fósforo. Se caracterizan por que se pueden vaciar del horno cubilote para obtener piezas de muy diferente tamaño y complejidad pero no pueden ser sometidas a deformación plástica, no son dúctiles ni maleables y poco soldables pero sí maquinables, relativamente duras y resistentes a la corrosión y al desgaste.

De acuerdo con la apariencia de su fractura, las fundiciones pueden ser grises, blancas, atruchadas, aunque también existen las fundiciones maleables, nodulares y especiales o aleadas.<sup>1</sup>

La fabricación de piezas en Fundición de hierro ocupa un campo muy extenso de la industria de maquinaria. Estos materiales son aleaciones de hierro-carbono con altos porcentajes y que se denominan bajo el nombre de fundiciones por ser este el procedimiento industrial de fabricación de las mismas. El mayor porcentaje de Carbono hace que la temperatura de fusión de estas sea mucho menor que la de los aceros y además se logra una mayor fluidez del material líquido, lo que permite el llenado de piezas de espesores menores y de formas complicadas, es decir, tienen una mejor colabilidad. Por otra parte, la menor temperatura de fusión permite que la interacción metal – molde sea menos agresiva y en consecuencia se pueden obtener piezas más sanas.

Su bajo costo, y su colabilidad, han dado lugar a un extenso desarrollo de estas aleaciones en aplicaciones como: bloques de motor, camisas de pistón, engranajes, cuerpos de válvula, piezas de automóvil, y otras muchas piezas para maquinaria.

En todos los materiales la elección se basa en las propiedades que puedan conseguirse en cada caso. En las fundiciones de alta resistencia buscamos los mejores valores en sus propiedades mecánicas, y estas derivan de la estructura constitutiva de las mismas. La ingeniería de materiales estudia los caminos para conseguir la estructura más adecuada para lograr esas propiedades utilizando los medios de técnicas de aleaciones y de procedimientos de fabricación adecuados. Hacemos hincapié en este último aspecto porque las propiedades mecánicas no son el producto de formulaciones de composición química más o menos

---

<sup>1</sup>[http://materias.fi.uba.ar/6715/Material\\_archivos/Material%20complementario%2067.17/Fundiciones.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Fundiciones.pdf). pág. 1 y 2

sofisticada. La técnica de fabricación es tan importante y más que la adición de los elementos de aleación, o mejor dicho, la combinación de ambos aspectos es el camino para lograr los mejores resultados.

En el caso que nos ocupa, la fundición gris es un material metálico compuesto estructuralmente de un constituyente matriz y de un material disperso. La matriz puede considerarse que es acero, sea éste de tipo ferrítico, perlítico o ferrito-perlítico. El material disperso es la parte del carbono que no está disuelto en el acero y que toma la forma de grafito. Por tanto, el comportamiento mecánico de una fundición gris resulta parecido al de un acero con numerosas microfisuras taponadas por grafito. Este grafito aparece como pequeñas partículas o láminas insertas en la matriz metálica. Si la estructura matriz es de tipo ferrítico, será mayor la cantidad de grafito, puesto que la ferrita apenas disuelve carbono. Si por el contrario es de tipo perlítico entonces será menor la cantidad de carbono libre puesto que habrá una parte del Carbono que se une a otra de Hierro formando la Cementita que constituye el conjunto perlítico. La cantidad, la forma y el tamaño del grafito, y por otra parte el tipo de estructura matriz que resulte serán los elementos determinantes de las propiedades que tenga esa fundición.

El grafito presente en la estructura hace que las fundiciones grises tengan alta maquinabilidad y buena resistencia al desgaste. El grafito las hace autolubrificantes y a la vez amortigua las vibraciones. Además se obtiene una buena conductividad térmica y buena resistencia a temperaturas altas. Por el contrario, tendremos una baja tenacidad puesto que esas láminas de grafito son incipientes microfisuras, como dijimos anteriormente.

Estos materiales son fabricados como productos fundidos y en ese proceso es donde se dan las condiciones que dan lugar a la estructura final. Por tanto, el mejor conocimiento de los mecanismos de nucleación y solidificación, así como los de transformación en estado sólido nos darán las bases para estudiar los

camino que nos lleven a obtener la estructura más adecuada al uso que se busque. Aquí también se cumple el principio que rige en el caso de los aceros al carbono aleados: los elementos de aleación son factores que permiten obtener las mejores propiedades del acero en cuanto a conseguir las condiciones en que el carbono se manifiesta como el verdadero elemento de aleación. Es decir, los aleantes son elementos acondicionadores de la acción del carbono en el acero.<sup>2</sup>

Los hierros fundidos son una familia de aleaciones ferrosas que poseen una amplia gama de microestructuras y propiedades físicas que directamente afectan el rendimiento del servicio. Por lo tanto, la capacidad de supervisar la microestructura de aleaciones ferrosas de fundición es un método muy útil para el control de las propiedades del producto y la calidad. La metalografía, es también una valiosa herramienta para su análisis de falla.

Para lograr un análisis visual exacto, las muestras deben revelar su verdadera microestructura con mínimos defectos de preparación. Una superficie aceptablemente preparada para el análisis de metalografía debe estar libre de deformación de la superficie y rayas, plano de punta a punta, y exhibición de alivio microestructural mínimo. Estos requisitos sólo se cumplen cuando las muestras estén correctamente preparadas con procedimientos metalográficos. Los resultados aceptables se pueden realizar mediante diferentes secuencias de pulido, pero algunos elementos clave son comunes a las técnicas más exitosas.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> [http://www.um.edu.uy/\\_upload/\\_descarga/web\\_descarga\\_39\\_Fundicionesgrisesaleadasdealtaresistencia-IngManuelVega.pdf](http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_39_Fundicionesgrisesaleadasdealtaresistencia-IngManuelVega.pdf)

<sup>3</sup> PRIDGON John W. Metals handbook Metallography and Microstructures volume 9, 9 ed. ASTM international, 439 p



## 4.2 COMPOSICIÓN

Para efectos de claridad y simplicidad, los análisis químicos de hierro gris se pueden dividir en tres categorías. La primera categoría incluye los elementos principales. En el segundo grupo son menores, normalmente de bajo nivel los elementos de aleación se relacionan estrecha para la solidificación de hierro gris. Por último, hay una serie de elementos que afectan a la microestructura y propiedades de los materiales.

### 4.2.1 Los elementos principales de las fundiciones grises.

Los tres elementos principales en la fundición gris son el carbón, silicio y el hierro. El carbono y el silicio se encuentran en niveles comerciales que varían ampliamente, como se muestra a continuación:

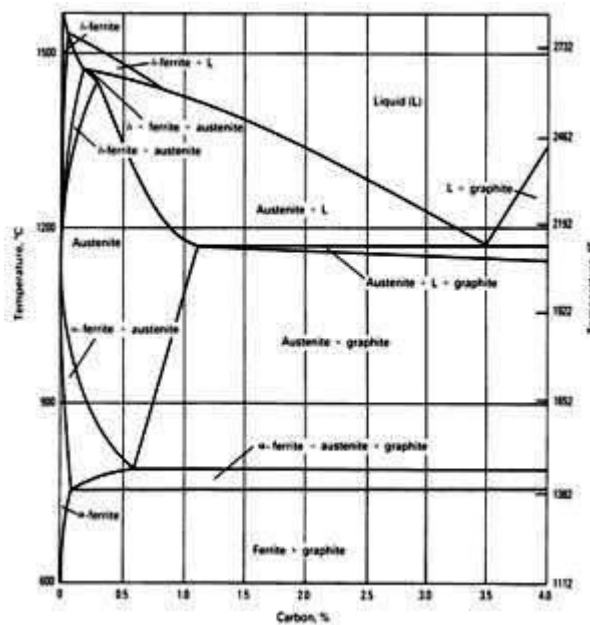
**Tabla 1.** Clasificación de las fundiciones según el %de carbono y silicio.

<b>TIPO DE HIERRO</b>	<b>% TOTAL DE CARBONO</b>	<b>% SILICIO</b>
Clase 20	3.40 - 3.60	2.30 - 2.50
Clase 30	3.10 - 3.30	2.10 – 2.30
Clase 40	2.95 - 3.15	1.70 – 2.00
Clase 50	2.70 - 3.00	1.70 – 2.00
Clase 60	2.50 - 2.85	1.90 – 2.10

Principalmente debido al desarrollo del hierro dúctil y algunos grados especializados de hierros aleados, el hierro gris se produce con los niveles de carbono total de 3,0 a 3,5%. Los niveles normales de silicio varían desde 1,8 hasta 2,4%.

Los Hierros grises son normalmente vistos como aleaciones ternarias de hierro-silicio-carbono. Una parte del diagrama de fases en equilibrio a 2,5% de Si como muestra en la fig. 1. puede verse, que el material presenta solidificación eutéctica y está sometida a una transformación eutectoide en estado sólido. Estos dos factores dominan la metalurgia del hierro gris.

**Figura 2.** Diagrama de equilibrio hierro – carbono.



La cantidad de Silicio presente será por tanto determinante del tipo de estructura que queremos obtener. La definición de la cantidad será un balance del Carbono equivalente resultante y del espesor de las piezas. El efecto gratificador del Silicio se puede explicar observando cómo modifica las temperaturas eutécticas en los diagramas estables y metaestable. La separación de ambas temperaturas da lugar a que la curva de solidificación típica de las aleaciones hipoeutécticas permita completar la solidificación sin que se haya atravesado la línea eutéctica metaestable y así obtener una estructura ausente de cementita. Es evidente que la velocidad de enfriamiento juega un papel fundamental en este proceso, y eso

puede llevar al fundidor a variar el contenido de Silicio en el caso de tener espesores delgados o bien a utilizar otras técnicas localizadas para minimizar las velocidades en esos puntos.

Tanto el carbono y el silicio influye la naturaleza de la fundición de hierro gris. Por lo tanto, es necesario desarrollar una aproximación de su impacto en la solidificación. Esto se ha logrado a través del desarrollo del concepto de equivalencia de carbono (CE). Con este enfoque, el carbono equivalente se calcula como:

— Ecuación 1

O más precisamente, teniendo en cuenta el fósforo.

———— Ecuación 2

Usando la ecuación 1 y 2, es posible relacionar el efecto del carbono, silicio y fósforo a los binarios del sistema hierro-carbono. La fundición de hierro gris con un % de carbono mayor de 4,3 se considera la composición eutéctica. La mayoría de la fundición de hierros grises hipoeutécticas (que Es decir, CE <4.3). Casi todas las propiedades mecánicas y físicas de la fundición de hierro gris están estrechamente relacionadas con el valor CE.

#### **4.2.2 Elementos de menor importancia en las fundiciones gris**

En la fundición de hierro gris son el fósforo y los dos elementos interrelacionados manganeso y azufre. Estos elementos, como el carbono y el silicio, son de gran importancia en la metalurgia del hierro gris. El control es necesario para la consistencia del producto. Los niveles absolutos varían de acuerdo a variables de aplicación y proceso de fundición.

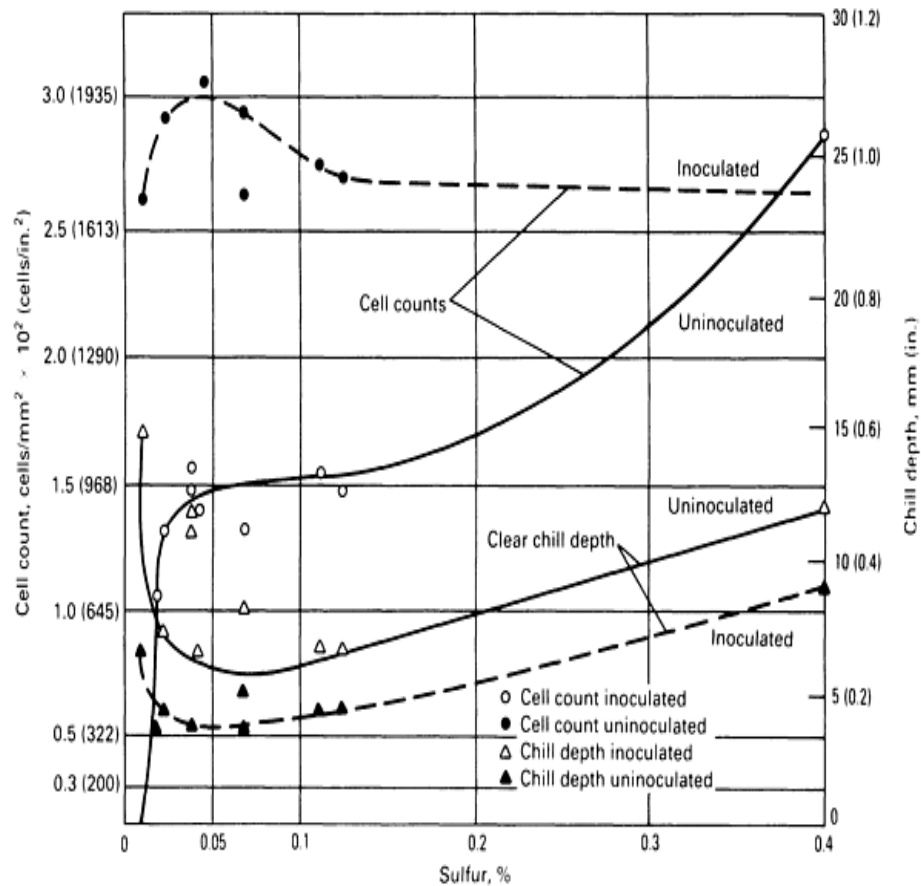
## ✓ **EL FÓSFORO**

Se encuentra en todos los hierros grises. Rara vez se agrega intencionalmente, pero tiende a provenir de arrabio o chatarra. Hasta cierto punto, aumenta la fluidez de hierro. El fósforo forma una fase de fosfuro de bajo punto de fusión en el hierro gris que se conoce comúnmente como esteadita. En altos niveles, puede promover la porosidad, mientras que los niveles muy bajos pueden aumentar la penetración del metal en el molde. Como resultado, la mayoría de piezas de fundición se producen con el 0,02 al 0,10% P. En la fundición la hermeticidad, puede ser necesario para desarrollar un nivel óptimo para la aplicación.

## ✓ **EI AZUFRE**

Los niveles de azufre en el hierro gris son muy importantes y en cierta medida son un área de controversia técnica actual. Numerosos investigadores han demostrado que el azufre juega un papel significativo en la nucleación de grafito en el hierro gris. El impacto de azufre sobre el recuento de células y la profundidad de la colina en hierro gris se puede ver en la figura. 2 para inocular e inoculadas hierros grises. Este trabajo indica que los niveles de azufre en el hierro gris deben estar en el rango aproximado de 0,05 a 0,12% para el máximo beneficio

**Figura 3.** Efecto del azufre en el recuento de células eutécticas y la profundidad de enfriamiento para inocular y no inoculados en la fundición de hierros grises



Es importante que el contenido de azufre del hierro sea equilibrado con el manganeso para promover la formación de sulfuros Manganeso. Esto se realiza normalmente mediante el uso de la ecuación 3.

### Ecuación 3

Trabajos recientes han indicado que el nivel de 0,3% se puede reducir un poco, algunas fundiciones se le agrega sólo el 0,2% de manganeso en exceso.

### 4.2.3 Traza de elementos

Además de estos elementos básicos, hay una serie de elementos menores que afectan a la naturaleza y propiedades del hierro gris. La Tabla 2, extraída en parte de una tabulación por BCIRA, muestra los efectos de algunos elementos traza en hierro gris, así como sus posibles fuentes. Dependiendo de los requisitos de propiedad, muchos de estos elementos pueden ser añadidos intencionalmente a los de hierro gris. Por ejemplo, el estaño y el cobre se agregan a menudo para promover la perlita.<sup>4</sup>

**Tabla 2.** Efectos, niveles y las fuentes de algunos elementos que trazan en la fundición gris.

ELEMENTO	NIVEL DE %	EFFECTOS	FUENTES
Aluminio	≤ 0.03	Promueve defectos de hidrógeno agujero de alfiler, especialmente cuando se utiliza moldes de arena verde y en niveles superiores a 0,005%. Neutraliza el nitrógeno	Adición deliberada, aleaciones de hierro, inoculantes, chatarra contaminada con componentes de aluminio
Antimonio	≤ 0.02	Promueve la perlita. Además del 0,01% reduce la cantidad de ferrita a veces se encuentra adyacente a la superficie sin el corazón	Desecho vítreo esmaltado, chatarra de acero, cojinetes de metal blanco, Adición deliberar

<sup>4</sup>STEFANESCU, D M. Metals handbook, Casting volume 15, 9 ed. ASTM international, 1988.Pag.1366 a la 1370.

**Continua. Tabla 2.** Efectos, niveles y las fuentes de algunos elementos que trazan en la fundición gris.

<b>ELEMENTO</b>	<b>NIVEL DE %</b>	<b>EFFECTOS</b>	<b>FUENTES</b>
Arsénico	$\leq 0.05$	Promueve la perlita. Además del 0,05% reduce la cantidad de ferrita a veces se encuentra adyacente a la superficie del núcleo	Arrabio, chatarra de acero
Bismuto	$\leq 0.02$	promueve carburos y formas indeseables de grafito que reducen propiedades de tracción	Adición deliberada, moldes contaminados de bismuto
Boro	$\leq 0.01$	Promueve carburos, sobre todo en la sección de piezas de luz. Los efectos son significativos por encima de 0,001%	Adición deliberada, chatarra esmaltado vítreo
Cromo	$\leq 0.2$	Promueve el enfriamiento en las secciones delgadas	Aleación de acero, placa de cromo, algunos lingotes de hierro refinados
Cobre	$\leq 0.3$	Pequeñas cantidades tienen un efecto significativo y puede ser ignorada	Alambre de cobre, aleaciones de metales no ferrosos, acero chatarra, algunos lingotes de hierro refinado

**Continua. Tabla 2.** Efectos, niveles y las fuentes de algunos elementos que trazan en la fundición gris.

<b>ELEMENTO</b>	<b>NIVEL DE %</b>	<b>EFEKTOS</b>	<b>FUENTES</b>
Hidrogeno	$\leq 0.0004$	Produce perforaciones sub-superficiales y (menos frecuente) las fisuras o bruto que sopla a través de una sección. Promotor de enfriamiento moderado. Promueve enfriar inversa cuando el manganeso es incompleto. Promueve grafito gruesa grafito gruesa	refractarios, Húmedo materiales de moldeo, y las adiciones
Plomo	$\leq 0.005$	Causa Widmanstätten y el grafito "puntiagudo", sobre todo en Secciones pasadas con alto hidrógeno. Puede reducir extensible fuerza del 50 % en niveles bajos (el 0.0004 %). Promueve perlita	Algunos esmaltes vítreos, pinturas, aceros inoxidables, aleaciones no ferrosos, placa, metal blanco, soldadura, algunas planchas de hierro
Molibdeno	$\leq 0.05$	promueve la perlita	Algunos lingotes de arrabio, chatarra de acero.
Níquel	$\leq 0.01$	Pequeñas cantidades tienen un efecto importante y puede ser ignorada.	Hierro en lingotes refinados, chatarra de acero



**Continua. Tabla 2.** Efectos, niveles y las fuentes de algunos elementos que trazan en la fundición gris.

<b>ELEMENTO</b>	<b>NIVEL DE %</b>	<b>EFFECTOS</b>	<b>FUENTES</b>
Nitrógeno	≤ 0.02	Comprime el grafito y aumenta la fuerza. Promueve perlita. Aumenta el enfriamiento. Puede causar defectos de grieta y el agujero de alfiler. Puede ser neutralizado por aluminio o titanio	coque, carburado, el moho y el núcleo carpetas, algunas aleaciones de hierro, chatarra de acero
Telurio	≤0.003	no se encuentra, pero un potente ex carburo	Adición deliberada, Bronces, pinturas del molde
Estaño	≤ 0.15	Promotor de perlita fuerte, a veces deliberadamente añadido a la creación de estructuras perlítica	Soldadura, chatarra de acero, aleaciones no ferrosas, hierro en lingotes refinados, Adición deliberar
Titanio	≤ 0.15	Promueve grafito supercongelados. Promueve la formación de poros de hidrógeno cuando el aluminio está presente. Combina con el nitrógeno para neutralizar	Algunasplanchasde hierro, la chatarra de acero, algunos esmaltes vítreosy pinturas,Adicióndeliberar

		sus efectos	
--	--	-------------	--

**Continua. Tabla 2.** Efectos, niveles y las fuentes de algunos elementos que trazan en la fundición gris.<sup>5</sup>

ELEMENTO	NIVEL DE %	EFFECTOS	FUENTES
Tungsteno	≤ 0.05	Promueve la perlita.	Aceros para herramientas
Vanadio	≤ 0.08	Forma carburos, promueve la perlita.	Chatarra de acero, algunas planchas de hierro.

#### 4.3 MORFOLOGÍA DEL GRAFITO.

Las propiedades mecánicas de la fundición gris dependen en gran medida del tamaño, forma y distribución del grafito presente, aunque otros factores son también importantes como la composición química, la velocidad de enfriamiento, el tipo de matriz y compuestos tales como carburos y esteadita. Un método para evaluar la distribución la forma y tamaño del grafito presente es la norma ASTM - A247 es este material es mostrado en la figura 4 donde se nota que existen cinco distribuciones posibles en las que el grafito puede estar en la matriz.

<sup>5</sup>STEFANESCU, D M. Metals handbook, Casting volume 15, 9 ed. ASTM international, 1988. 1366 – 1370 p

**Figura 4.**Tamaño y forma (tipo), del grafito laminar presente en la fundición gris.



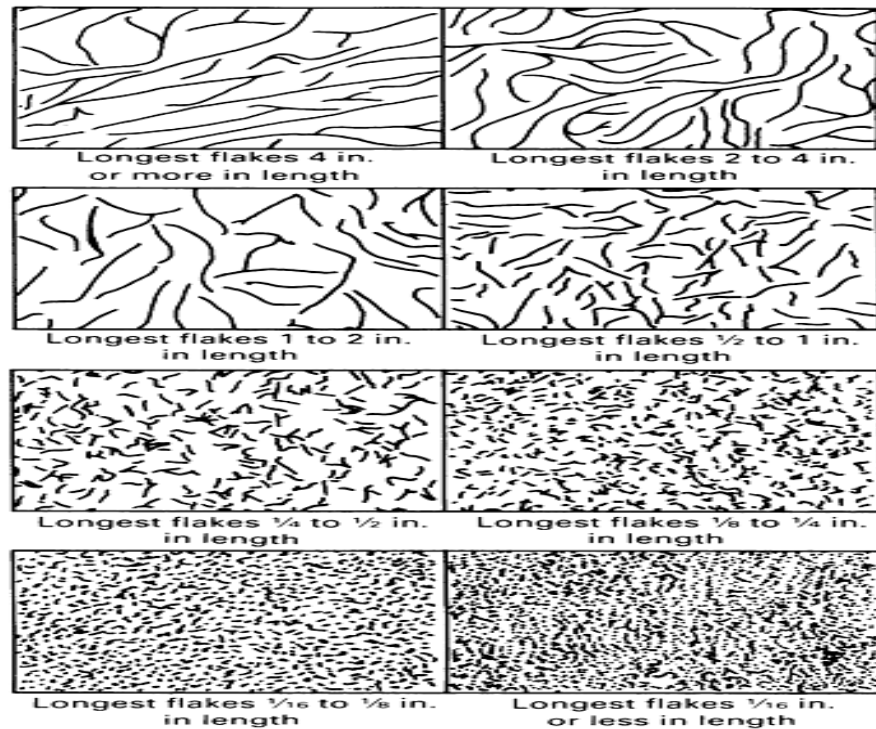
El grafito tipo A es obtenido cuando son utilizadas bajas velocidades de solidificación. Una fundición que presente este tipo de grafito adquiere propiedades como superficies mejor acabadas, respuesta rápida a algunos tratamientos térmicos, baja dureza, alta tenacidad y alta ductilidad. El grafito tipo B se forma en una fundición que presenta una composición casi eutéctica. El grafito tipo C aparece en hierros hipereutecticos, preferiblemente con altos contenidos de carbono. Los grafitos tipo D y E se forman cuando las velocidades de enfriamientos son altas, pero no tan altas como para formar carburos. Las propiedades típicas de fundición que tienen los tipos de grafito S y E son alta dureza y resistencia a la tracción, baja ductilidad y baja tenacidad.

Las laminas u hojuelas de grafito mostradas en la figura 4 son clasificadas de acuerdo a la norma ASTM A247.

Cuando se desea conocer el tamaño del grafito y por consiguiente la clase de fundición gris que se tiene presente A, B, C, entre otros, se puede utilizar cartas dadas por la norma ASTM A247 como las mostradas en la figura 3. De acuerdo

con esta norma, el tamaño del grafito. Se clasifica en 8 tamaños diferentes. Para conocer este tamaño, se pule una probeta y se observa al microscopio a 100 aumentos (100X), sin ataque químico, seguidamente, el tamaño observado en el microscopio se compara con la carta de la norma y de esta forma se puede determinar el tamaño del grafito.<sup>6</sup>

**Figura 5.** Clasificación ASTM A – 247 del tamaño de grafito laminar. Visto y analizado a 100 aumentos



#### 4.3.1 Microestructura de la matriz perlítica

La microestructura de la matriz en las fundiciones grises pueden ser ferríticas, perlíticas, bainítica o martensítica (estas dos últimas obtenidas por tratamiento térmico).

<sup>6</sup>Introducción al estudio de la tecnología y la metalurgia de las fundiciones de hierro. 77 P

Una matriz ferrítica se obtiene cuando se quiere máxima maquinabilidad, aunque con resistencia al desgaste y a la tracción baja. Una matriz perlítica presenta mayor resistencia al desgaste y a la tracción, estas dos propiedades se ven ambas incrementadas con el menor espaciamiento existente entre las laminas de ferrita y cementita que forma la perlita, la cual se obtiene utilizando velocidades altas de enfriamiento.

#### **4.3.2 Fundición perlítica**

La perlita dentro de las fundiciones grises, es la microestructura que presenta mejores características mecánicas, aunque no es fácil de conseguir, ya que su aparición depende de una adecuada y balanceada composición química, además de la velocidad de enfriamiento, del espesor de la pieza, entre otras variables.

#### **4.3.3 Efecto del tamaño de la selección**

Un parámetro importante en la variación de las propiedades de la fundición gris es el espesor efectivo de la sección a vaciar. Mientras mayor sea el espesor y más compacta sea la fundición, mas se demorara en solidificar el metal y más lento se enfriara el molde. Esto lleva a que el metal presente tamaño de grano grande además de producir laminas gruesas y largas de grafito.

Para enfriamientos de fundición gris desde alta temperaturas (pero en estado sólido, lo que supone un tratamiento térmico), en caso de hacerse de una manera lenta. Se obtendrá matrices metálicas de baja dureza; por otro lado, una pieza delgada solidificara rápido, obteniéndose mayores durezas. Fundiciones con diferentes tamaños tendrán diferencias en el tamaño del grafito y en la dureza de la matriz, a pesar de haber sido vaciadas con la misma composición. Estas

diferencias microestructurales se traducen en diferencias de las propiedades mecánicas.<sup>7</sup>

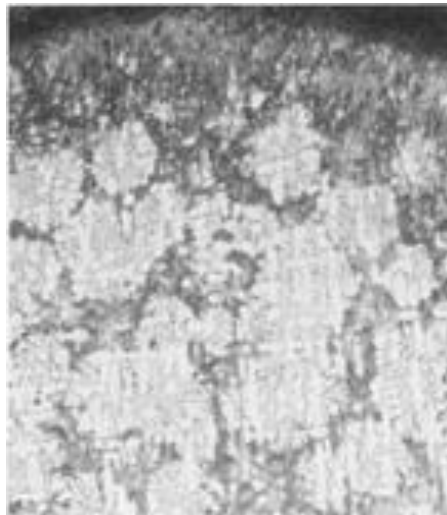
#### 4.4 ESTRUCTURA DE LA MATRIZ

Un reactivo revelador como el Nital al 2%, es necesario para revelar las fases de la matriz en la que el grafito reside. Las fases que se encuentran comúnmente en el hierro fundido son la ferrita, cementita y perlita.

##### ✓ FERRITA

Es blanda, de bajo carbono de hierro  $\alpha$ , que es una fase de baja resistencia a la tensión, pero de alta ductilidad. La ferrita presente en las fundiciones se diferencia en disoluciones importantes de silicio que eleva su dureza y resistencia

**Figura 6.** Grafito y perlita revelado con un 2% Nital. La ferrita se encuentra con grafito.100X



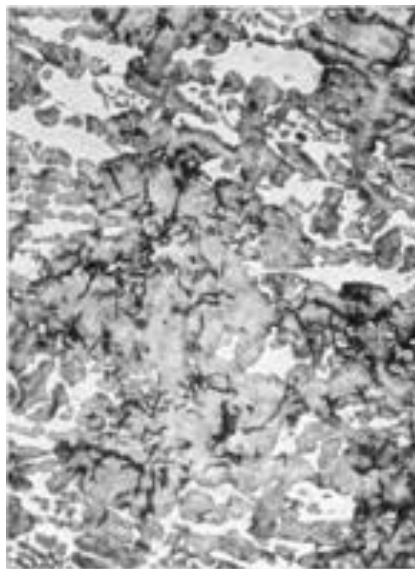
---

<sup>7</sup> MESA GRAJALES, Darío Hernán. Introducción al estudio de la tecnología y metalurgia de las fundiciones de hierro. Pereira: universidad tecnológica de Pereira. 2004. Pag. 77 a la 83

✓ **CEMENTITA O CARBURO EUTÉCTICO.**

Es un compuesto duro, frágil intermetálico de hierro y carbono. Su formación se ve favorecida en las áreas de un vaciado donde se lleva a cabo un enfriamiento rápido, como en las secciones delgadas o en las esquinas, por lo largo de la superficie del modelo. Las fundiciones de bajos carbonos equivalentes, especialmente aquellos con contenido de silicio bajo, es probable que contengan cementita. Un ejemplo de carburo eutéctico se encuentra en un hierro manchada se muestra en la fig. 7.

**Figura 7.** Cementita atacado con Nital al 4%. La fase blanca es el carburo



✓ **PERLITA**

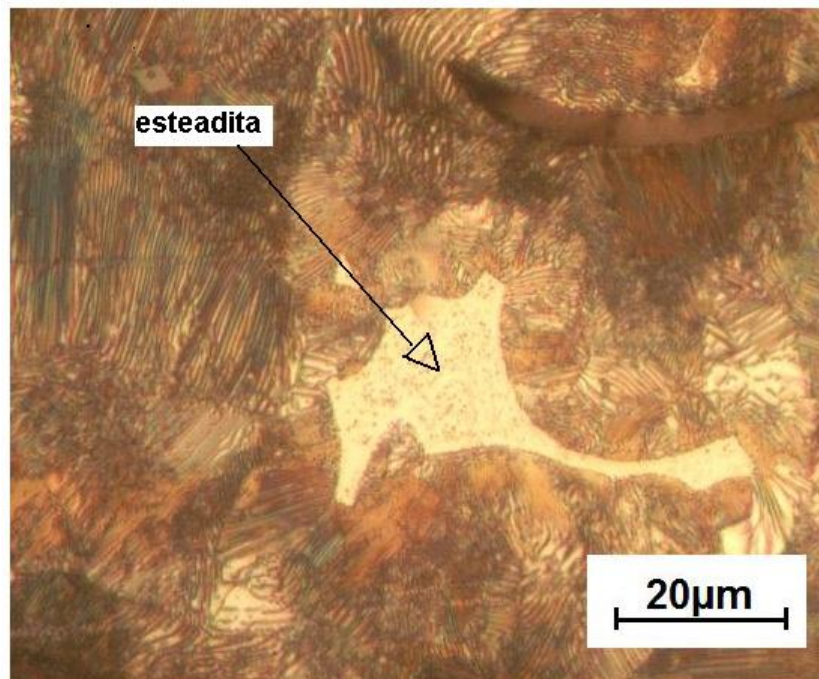
Es un producto de la reacción eutectoide; donde la austenita se transforma en ferrita  $\alpha$  y cementita a temperatura constante ( $727^{\circ}\text{C}$ ).

La perlita se observa en el microscopio, como una mezcla laminar alternada de dos fases mencionadas por lo que es más dura y resistente que la ferrita  $\alpha$  y más blanda y dúctil que la cementita.

✓ **ESTEADITA**

El eutéctico fosfuro de hierro, se encuentra comúnmente en los hierros grises con contenido de fósforo en mayores del 0,02%, a menores concentraciones se considera que es soluble. Tiene un bajo punto de fusión (unos 930°C o 1705°F) y por lo general es el último componente en solidificar. Esto explica su presencia en los límites de la célula, donde se puede asumir una apariencia triangular cóncava (Fig. 8). La Esteadita, es carburos de hierro, pueden disminuir las propiedades mecánicas del hierro. Elementos como el cromo y el molibdeno se puede concentrar en la fase de fosfuro, lo que aumenta su volumen.

**Figura 8.** La microestructura de donde se observa la presencia de esteadita.





## ✓ SULFUROS DE MANGANESO

Se encuentran comúnmente distribuidos uniformemente en la matriz de hierro gris, como se muestra en la fig. 9. Son inclusiones en el hierro gris, con formas geométricas que se forman antes de la solidificación final. La presencia de sulfuro de manganeso es un resultado de la adición deliberada de manganeso para evitar la formación de sulfuros de hierro frágiles que de otra manera se forman en los bordes de grano. Hay que añadir suficiente manganeso para atacar el azufre. La ecuación 3, se utiliza para determinar el manganeso necesario para equilibrar el azufre. El Manganeso adicional se agrega a veces, y por regla general se debe añadir tres partes de manganeso por una de azufre para garantizar la neutralización.

Los elementos de aleación influyen de diversas formas en el equilibrio de las temperaturas eutécticas del hierro – grafito y del hierro – cementita como se indica en forma esquemática.

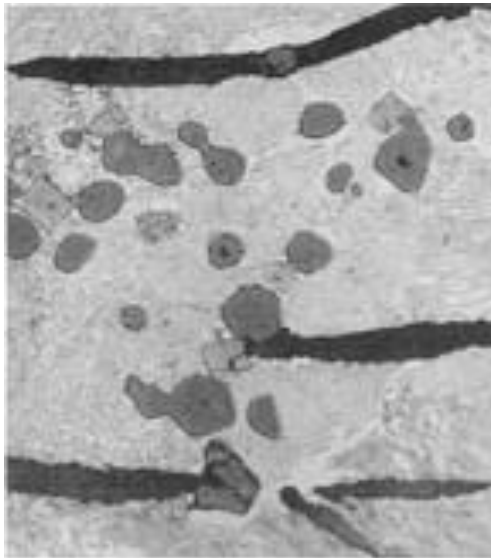
**Figura 9.** La microestructura donde se observa la presencia de sulfuro de manganeso.



✓ **CARBUROS DE TITANIO O CARBONITRUROS DE TITANIO**

Se observan a menudo en hierro gris. Esto es particularmente cierto para la fabricación de plancha a la que las adiciones deliberadas de titanio se han hecho para evitar la formación de los defectos de la fisura de nitrógeno. Estas inclusiones son angulosas, a menudo de aspecto cúbico y se encuentran a lo largo de la matriz, pero se concentran en las regiones intercelulares (Fig. 10). Por lo general, poseen un color anaranjado cuando se observa bajo la luz reflejada, pero otros colores, incluyendo azul-gris, violeta, rosa y amarillo, se han observado, según el contenido de nitrógeno<sup>8</sup>

**Figura 10.** Sulfuro de manganeso (gris oscuro, redondeadas) y carbonitruro de titanio (gris claro, angular) inclusiones. Revelado al 2% Nital. 500X



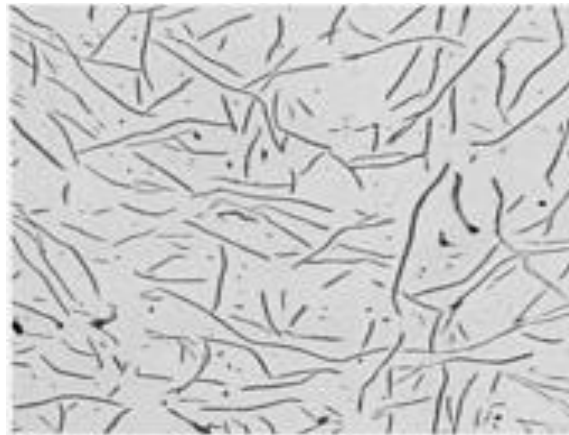
---

<sup>8</sup>STEFANESCU, D M. Metals handbook, Casting volume 15, 9 ed. ASTM international, 1988. Pag. 1373 a la 1376.

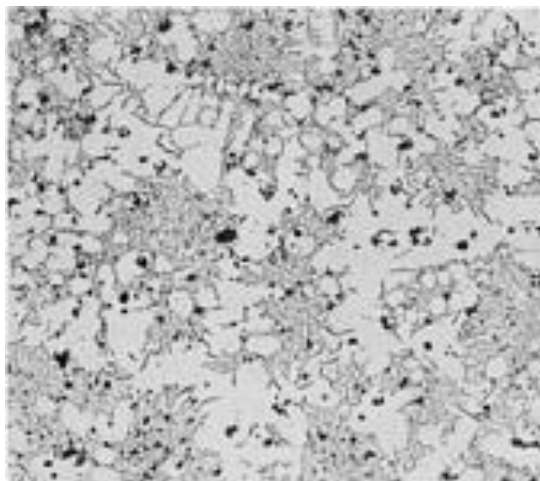
#### 4.5 ATLAS DE LAS MICROESTRUCTURAS DE FUNDICION GRIS.

En el HANDBOOK DE Metalografía se presentan los siguientes patrones para calificar las fundiciones grises.<sup>9</sup>

**Figura 11.** Hierro gris, mostrando un tipo de distribución de laminas de grafito (distribución uniforme al azar) pulido 100X.

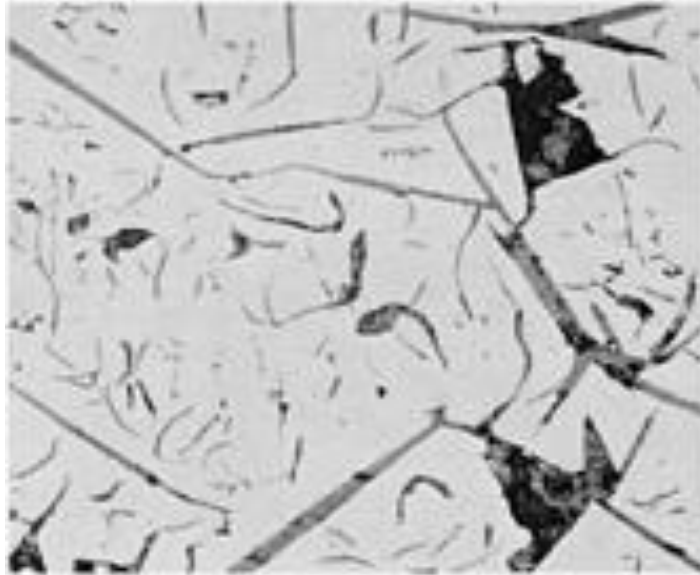


**Figura 12.** Hierro gris, muestra la distribución de grafito tipo B (agrupación de rosetas y la orientación al azar) pulido 100 X.

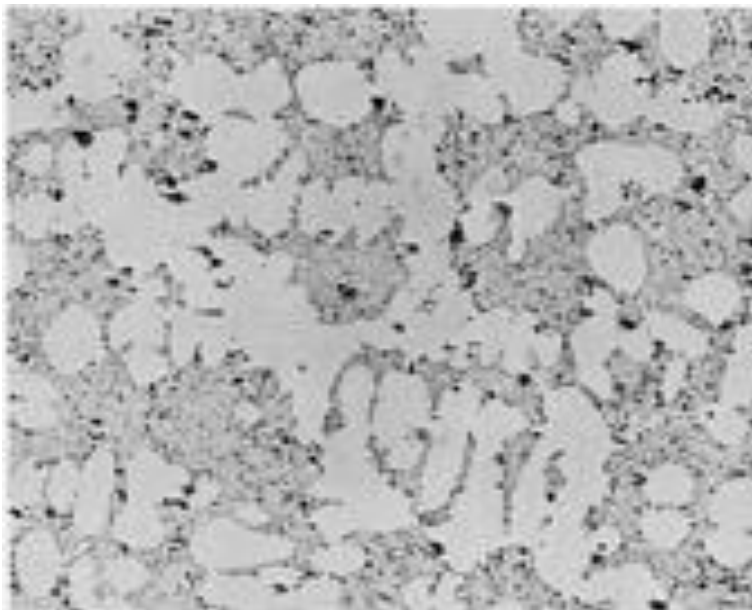


<sup>9</sup> PRIDGEON John W. Metals handbook Metallography and Microstructures volume 9, 9 ed. ASTM international, 448 a la454 p

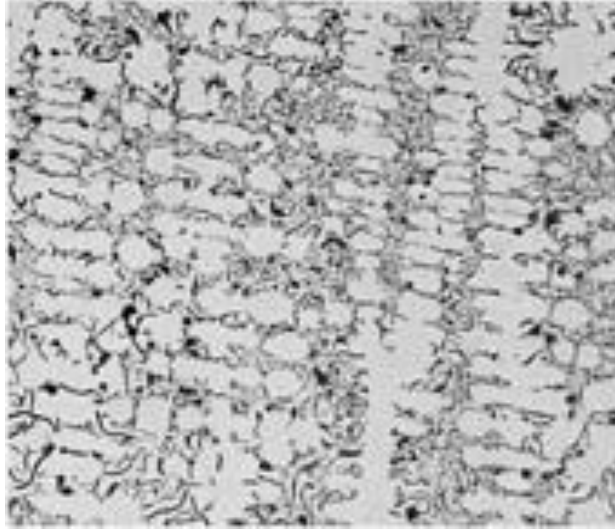
**Figura 13.** Hierro gris, muestra el tipo de distribución de grafito C se caracteriza por tamaño de las escamas superpuestas y al azar orientación. 100X.



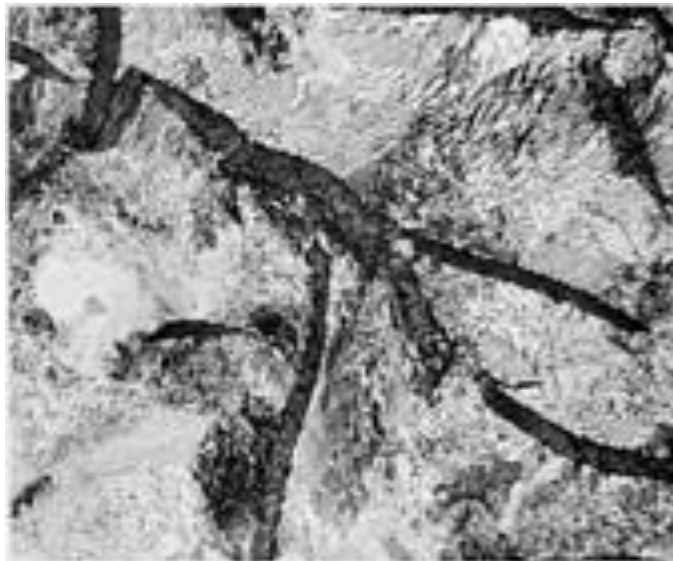
**Figura 14.** Hierro gris, muestra el tipo de distribución de grafito D (segregación interdendrítica y orientación al azar). 100X



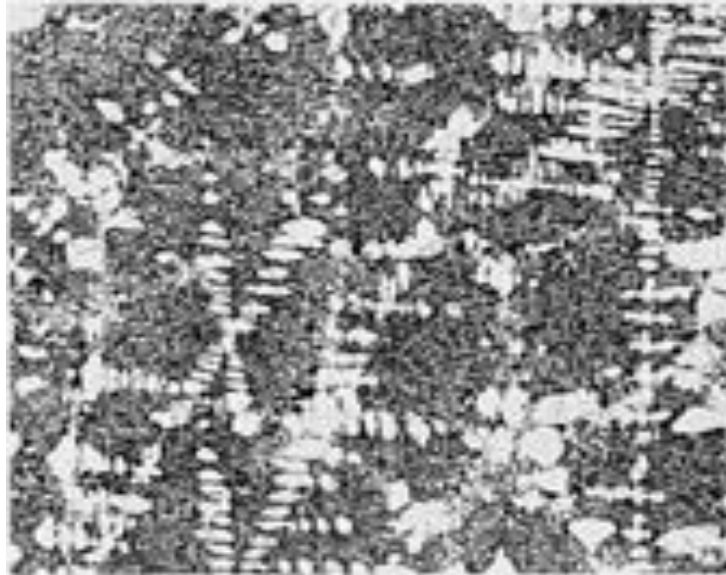
**Figura 15.** Hierro gris, muestra el tipo E de distribución de grafito, se caracteriza por la distribución interdendrítica. 100X.



**Figura 16.** Hierro gris, la estructura es de tipo A, copos de grafito, es una matriz perlítica. 3% Nital. 500X.



**Figura 17.** Fundición gris clase 30, fundido en molde permanente, recocido 45 minutos a 885°C (1625°F). Dendritas de ferrita y grafito tipo D en una matriz de ferrita. 3% Nital. 100X.



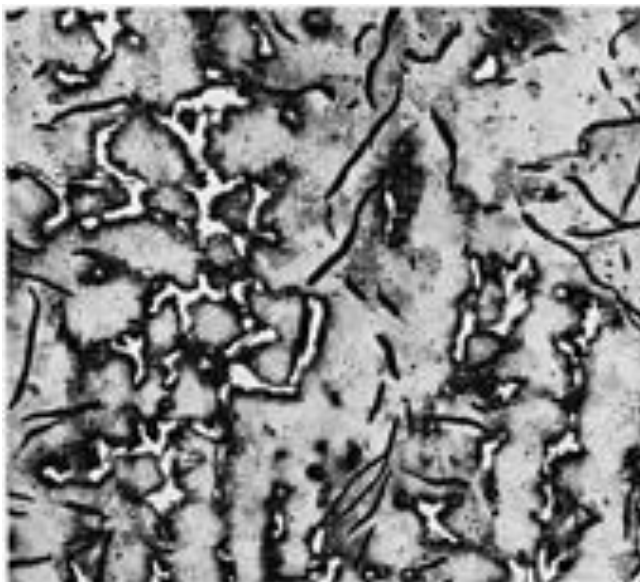
**Figura 18.** Fundición gris clase 50. La matriz es perlita fina con algunos carburo libre (blanco) que puede haber resultado de solidificación rápida. 2% Nital. 750 X.



**Figura 19.** Fundición gris, fundición de arena. La estructura consiste en una quebrada red de esteadita (las luces, irregular) en una matriz de perlita fina. 5% Nital. 500 X



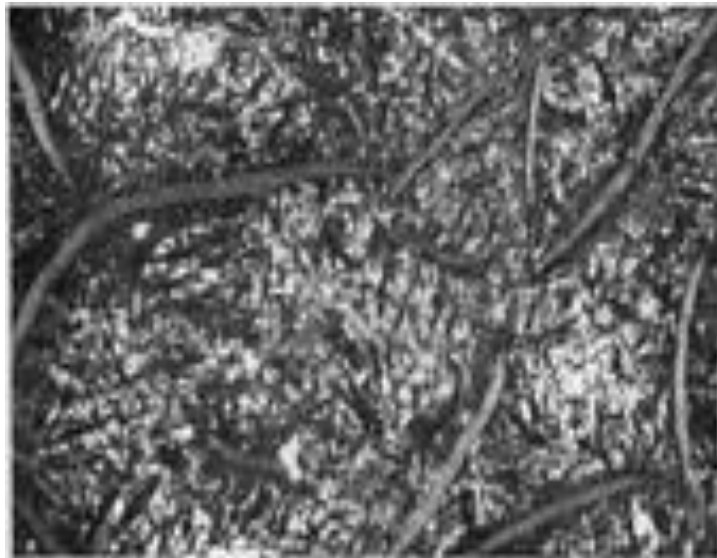
**Figura 20.** Tipo de un grafito en una matriz de perlita, con algunos de carburo libre de color blanco. 100 X.



**Figura 21.** Mayor aumento (500 X) muestra una matriz perlítica contiene láminas finas y gruesas. Nital 4%

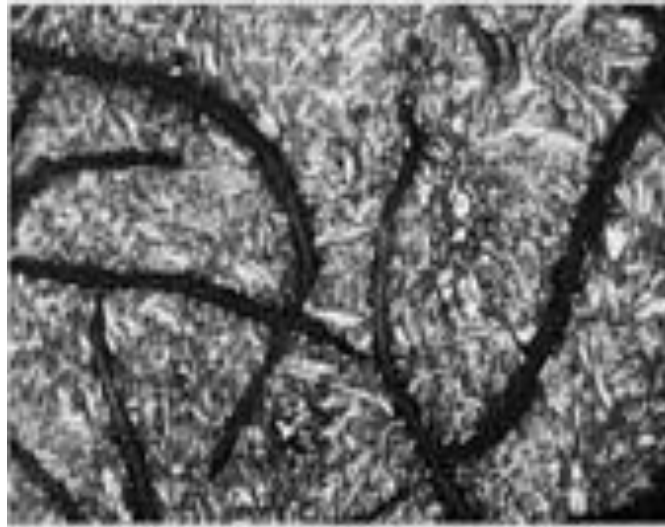


**Figura 22.** Fundición gris clase 30 (Fe - 3.54C - 2.17Si), austenizado a 870°C (1600°F). Tipo de grafito martensita (oscuro), algunas partículas de carburo de silicio (luz, se indica), y austenita retenida (blanco). 2% Nital. 500 X.

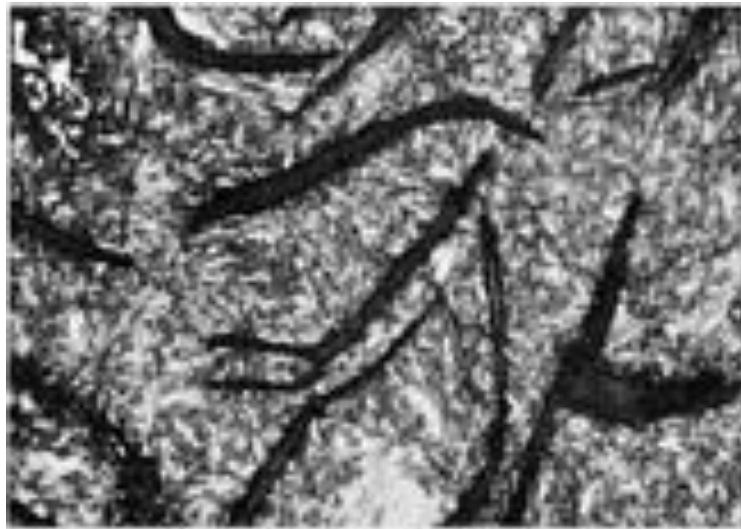




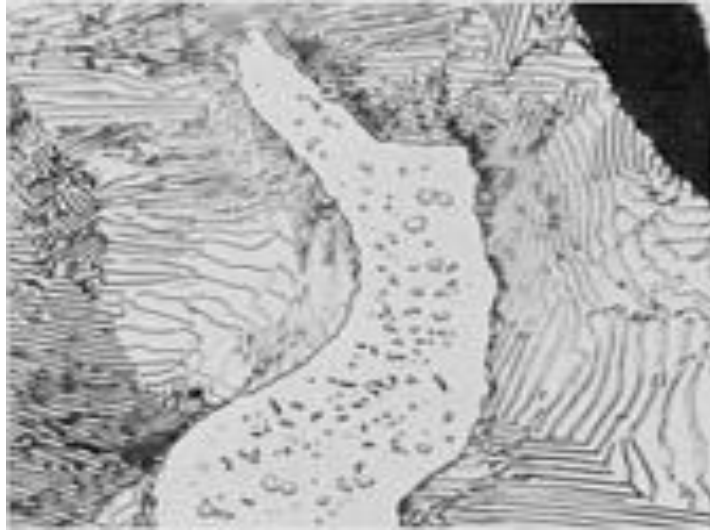
**Figura 23.** Igual que Fig. 22, con excepción de revenido a 480°C (900°F) después del temple. Grafito tipo A en una matriz de martensita revenida. Compárese con la figura. 26. 2% Nital. 500X.



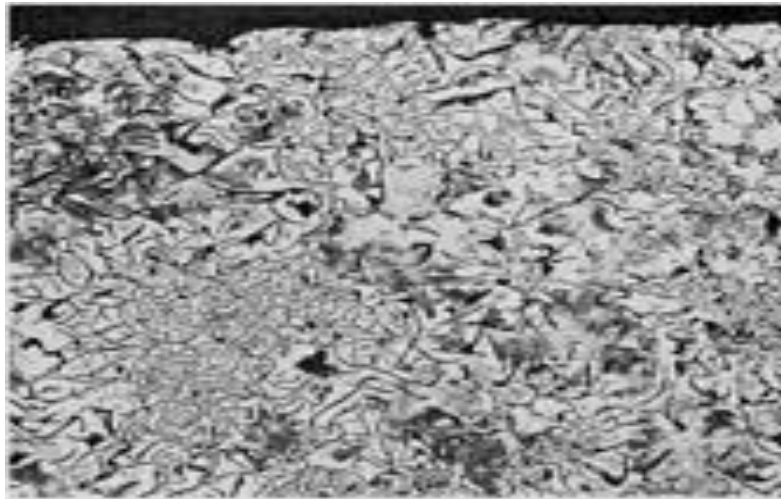
**Figura 24.** Lo mismo que la figura. 22, con excepción de templado a 540°C (1000°F) después del temple. Un tipo de copos de grafito en una matriz de martensita revenida. 2% Nital. 500X



**Figura 25.** Fundición gris clase 30B, con áreas de esteadita (eutéctica de partículas pequeñas, redondeadas en color claro de ferrita) y Un tipo de grafito en una matriz de perlita. 3% Nital. 1500 X.



**Figura 26.** Fundición gris, con una estructura anormal de grafito tipo B y el exceso de ferrita en la matriz de perlita. Esta microestructura como resultado poca fuerza y resistencia al desgaste. 4% Nital. 100 X.<sup>10</sup>



<sup>10</sup> PRIDGEON John W. Metals handbook Metallography and Microstructures volume 9, 9 ed. ASTM international, 448 – 454 p

#### 4.6 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 templeabilidad.

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 3 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 4 se señala la influencia que tienen sobre los puntos críticos.

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

Otros elementos como el cromo, manganeso y molibdeno son formadores de carburos, son elementos que tienden a formar fundición blanca en vez de gris y dificultan la grafitización.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup>[http://materias.fi.uba.ar/6715/Material\\_archivos/Material%20complementario%2067.17/Fundiciones.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Fundiciones.pdf)  
pág. 8 - 9

**Tabla 3.** Influencia de los diversos elementos aleados que ejercen sobre la formación del grafito y de los carburos y sobre las características de la matriz.

<b>ELEMENTO</b>	<b>GRATIFICACION Y COEFICIENTE DE GRATIFICACION</b>	<b>EFFECTOS DE CARBUROS A ALTA TEMPERATURA</b>	<b>EFFECTO EN LA ESTRUCTURA DE GRAFITO</b>	<b>EFFECTO EN EL CARBONO COMBINADO DE LA PERLITA</b>	<b>EFFECTO QUE PRODUCE EN LA MATRIZ</b>
<b>CARBONO</b>	FAVORECE	Decrece estabilidad	engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece a la formación de la ferrita
<b>SILICIO</b>	FAVORECE + 1	Decrece estabilidad	engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece a la formación de la ferrita
<b>ALUMIO</b>	FAVORECE + 0.5	Decrece estabilidad	engruesa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece a la formación de la ferrita
<b>TITANIO</b>	FAVORECE +0.4	Decrece estabilidad	Afina fuertemente	decece	Ablanda y favorece a la formación de la ferrita
<b>NIQUEL</b>	FAVORECE+0.35	Decrece ligeramente estabilidad	Afina ligeramente	Decrece y estabiliza la perlita	Afina la perlita y da dureza
<b>COBRE</b>	FAVORECE +0.20	indiferente	indiferente	Decrece ligeramente	Da dureza

**Continua.Tabla 3.** Influencia de los diversos elementos aleados que ejercen sobre la formación del grafito y de los carburos y sobre las características de la matriz.<sup>12</sup>

<b>ELEMENTO</b>	<b>GRATIFICACION Y COEFICIENTE DE GRATIFICACION</b>	<b>EFFECTOS DE CARBUROS A ALTA TEMPERATURA</b>	<b>EFFECTO EN LA ESTRUCTURA DE GRAFITO</b>	<b>EFFECTO EN EL CARBONO COMBINADO DE LA PERLITA</b>	<b>EFFECTO QUE PRODUCE EN LA MATRIZ</b>
<b>MANGANESO</b>	SE OPONE -0.25	estabiliza	Afina ligeramente	aumenta	Afina la perlita y da dureza
<b>MOLIBDENO</b>	SE OPONE -0.30	indiferente	Afina fuertemente	Aumenta ligeramente	Afina la perlita y da resistencia
<b>CROMO</b>	SE OPONE - 1	Estabiliza fuertemente	Afina ligeramente	aumenta	Afina la perlita y da dureza
<b>VANADIO</b>	SE OPONE -2.5	Estabiliza fuertemente	afina	aumenta	Afina la perlita y da dureza

<sup>12</sup>[http://materias.fi.uba.ar/6715/Material\\_archivos/Material%20complementario%2067.17/Fundiciones.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Fundiciones.pdf). 8 - 9 p.

## **5 DISEÑO METODOLOGICO**

### **5.1 METODO**

En este trabajo de grado se opta por el método descriptivo ya que tiene como objetivo recopilar datos de la observación de las probetas a las que se realizaran el análisis metalograficos con el fin de identificar los fenómenos que se presenta en los procesos de colado de la fundición.

### **5.2 METODOLOGIA**

Se obtendrá las muestras patrones de un proceso de fundición en un horno de cubilote, donde mediante la preparación de las probetas se realizara el análisis metalográfica, bajo la norma ASTM E 3-80. La selección de los especímenes de prueba para la examinación metalográfica es extremadamente importante, ya que su interpretación será de valor importante para él estudio, y se seleccionaran de una fundición en las zonas donde la máxima segregación se espera que ocurra, también como de las selecciones donde alguna segregación se dé. Si la causa de una falla se va diagnosticar, el espécimen de una probeta debe ser tomado tan cerca como sea posible de la fractura o a la iniciación de la falla. Los especímenes deben ser tomados en muchos casos de un área sana para una comparación de estructura y propiedades.

### **5.3 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACION DE INFORMACION**

La información recopilada para hacer este proyecto fue suministrada por libros donde nos habla de tipo defectos de las microestructuras de las fundiciones, estructuras matrices de fundiciones tipos de morfologías como el libro ASM METALS HANDBOOK, volumen 9 Y 15 documento de la internet y la recopilación

técnica y practica apoyada por el docente de la universidad de la universidad de Antioquia la cual dicta la asignatura procesos de función en el Instituto Tecnológico pascual bravo.

### **5.3.1 Fuentes primarias**

Libros de microestructura y metalografía de función gris ASM METALS HANDBOOK, volumen 9 Y 15.

### **5.3.2 Fuentes secundarias**

Información prestada por docentes de la ingeniería de materiales de la universidad de Antioquia.

## **5.4 PROCEDIMIENTO**

Las muestras recolectadas en el proyecto fueron preparadas para su análisis metalografico con los siguientes pasos y recomendaciones.

### **5.4.1 Corte, preparación de la muestra**

La muestra, por lo general, se corta de piezas más grandes con un tamaño adecuado para piezas redondas es de cinco milímetros de diámetro, para piezas cuadradas seis milímetros.

### **5.4.2 Corte de la muestra**

Para metales livianos y aceros suaves se usa sierra de mano. La sierra tiene 14, 18, 32 dientes, se aconseja utilizar la de 14 dientes.

### 5.4.3 Desbaste a mano

Para hacer que una superficie sea completamente plana (desbaste grosero), se realiza mediante una desbastadora de cinta. Si el área de desbaste es grande, el tiempo es corto. Se gira la probeta mientras se le desbasta.

No se debe aplicar presión excesiva a la probeta por que produce rayas muy profundas difíciles de eliminar después; además distorsiona el metal.

El biselado de los bordes de la probeta durante el desbaste grosero evita las desgarraduras y roturas de papeles y paños en las operaciones.

#### ✓ **DESBASTE GROSERO**

El biselado no se puede realizar cuando interesa observar precisamente el material que se encuentra cerca de estos bordes. En cuyo caso se monta adecuadamente la probeta y se protegen los bordes (baquelita).

Cuando la superficie de la probeta es completamente plana y se han eliminado sus irregularidades, se da por terminado el desbaste grosero.

Las manos y probetas del operario se lavan cuidadosamente con jabón y aguapara evitar el transporte de residuos metálicos al papel de desbaste intermedio.

Desbaste manual: si no hay maquina de desbastes se pueden usar papeles grado 80, 120.



## ✓ **DESBASTES INTERMEDIOS**

Conviene emplear un papel nuevo para cada probeta. Los papeles usados deben ser lavados constantemente porque las partículas abrasivas desgastadas tienden a producir distorsiones del metal (rayas), en el caso cuando se ha trabajado con acero y luego trabajar un material blando (latón).

Los abrasivos usados son carburos de silicio, óxidos de aluminio, estos abrasivos están pegados a un papel. El primer papel de desbaste se hace en papeles de tamaño de malla 240, siguiendo con 320, 400, y por último grado, el 600.

### **5.4.4 Pasos del desbaste y pulido**

#### ✓ **FIJACION DEL PAPEL**

Se fija el papel a la placa de vidrio, la probeta se sujeta con las manos sobre el papel y se mueve longitudinalmente de un lado al otro del papel, aplicándole una presión suave. La dirección del movimiento se mantiene constante para todas las rayas se mantiene paralelas.

El final de la operación sobre el papel está determinado por la desaparición de las rayas producidas por el desbaste grosero o el papel anterior, para poder reconocer fácilmente se opera de forma que las nuevas rayas serán perpendicular a las anteriores, así es fácil ver cuando estas nuevas rayas finas sustituyen totalmente a las anteriores.

## ✓ **DESBASTE FINAL**

Se hacen en los papeles 240, 320, 400 y 600. El desbaste fino se realiza en la misma forma descrita en el desbaste intermedio pasando por los dos últimos papeles 400 y 600. En casos especiales como:

- El desbaste del magnesio y sus aleaciones.
- Aleaciones de plomo se realiza en otros tipos de papeles.
- Cuando la observación visual muestra que solo existen las rayas producidas por el último papel empleado y se ha eliminado totalmente las anteriores, la probeta está en condiciones de ser pulida.

## ✓ **PULIDO**

El objetivo es eliminar las rayas producidas en la última operación de desbastes y conseguir una superficie sin rayas y con alto pulimento. El éxito del pulido depende del desbaste.

Si una probeta tiene rayas profundas y gruesas que no se han eliminado en el último desbaste, se pierde el tiempo si pretende eliminar por pulido, deberá volver a desbastar la probeta.

## ✓ **PULIDO PRELIMINAR**

El objeto del pulido preliminar es hacer desaparecer las rayas finas producidas en la última operación de desbaste. El motor gira de 400 – 500r.p.m.

El disco pulidor se cubre con un paño de lana de billar. El abrasivo se emplea de Alundum o carborundo de 600 mallas o pasta de diamante, oxido de cromo u oxido de aluminio de 600 mallas.

Para realizar el pulido preliminar se mantiene la probeta desbastada, firmemente sobre el disco que gira, y durante la operación se mueve continuamente desde el centro hasta el borde del disco y viceversa. La concentración del abrasivo es de 15 gramos por cada 100 gramos de agua.

El pulido preliminar dura de 2 a 5 minutos y al terminarse se lava bien la probeta y las manos. Se le adiciona alcohol para luego sacarla y observar si tiene muchas rayas.

Las probetas bien preparadas, después del desbaste y el pulido preliminar muestran solamente las rayas características del Alundum o carborundo de malla 600 y la superficie es de brillo apagado.

#### ✓ **PULIDO FINAL**

Tiene por finalidad eliminar las rayas producidas en el pulido preliminar, y dan lugar por ultimo a una superficie pulida uniforme y libre de rayas.

Esta operación se realiza cubriendo el disco con un paño gamal o miracloth, según el metal o aleación se emplea abrasivos como alúmina, oxido de magnesio, oxido crómico. A 100 aumentos no debe presentar rayas.

Durante el pulido se aplica abrasivo de cuando en cuando, mediante un frasco adecuado. Si hay suficiente abrasivo pero se seca el paño se añade agua.

La alúmina levigada (alúmina en agua) es un abrasivo de empleo universal.

Se gira la probeta en sentido contrario al de la rotación del disco. Esta operación modifica continuamente la dirección del pulido y evita la formación de colas de cometa. Tales formaciones son inevitables cuando se pule en una dirección.

Porque se arranca más o menos las inclusiones, se abrasiona el metal adyacente y aparecen picaduras y huecos dejados por dichas inclusiones.

El pulido final se suspende cuando las rayas no son observables a 100 aumentos, no apareciendo tampoco colas de cometa la superficie no debe tocarse con las manos ya que el ataque puede ser desigual.

La probeta pulida puede atacarse inmediatamente después, puede guardarse para usarlo más tarde y examinarlo con ataque; en cualquier caso la superficie de la probeta debe protegerse de la oxidación.

#### **5.4.5 Ataque químico**

Los reactivos de ataque se aplicaran por inmersión de la probeta en el reactivo o poniendo en contacto con la superficie de la misma con algodón impregnado.

La probeta debe estar limpia para asegurarse de que el reactivo la mojará regular y uniformemente. Para ello se lava con agua corriente y caliente, se frota luego con cuidado utilizando un algodón húmedo, se vuelve a lavar con alcohol etílico y por fin se seca en una corriente de aire caliente. Cuidado de no rayar la probeta con la superficie de vidrio.

Para desalojar burbujas de aire retenidas en la superficie y asegurar que bajo esa superficie, existe reactivo, se agita moderadamente la probeta. Si la superficie de la probeta se pone mate significa que el ataque progresa.

Cuando el ataque se da se considera suficiente, se retira la probeta, se introduce en un chorro de agua caliente, se lava con alcohol etílico y se sea al aire caliente. Si la probeta atacada hay que guardarla durante mucho tiempo, es importante introducirla en una solución diluida de laca, dejar escurrir el exceso de líquido unos segundos, y después dejar secar la laca poniendo la superficie pulida

horizontalmente y hacia arriba. También una capa delgada de vaselina o una de aceite mineral blanco para garantizar la preservación durante mucho tiempo, en especial si la probeta se guarda en un desecador o barniz<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> QUINTERO MOSCOSO, Enrique. Manual de laboratorio de materiales de ingeniería. Medellín, editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 1996, 11 p.a la 19p

## 6 RESULTADOS

### 6.1 ANÁLISIS QUÍMICO

La siguiente tabla muestra el resultado en porcentaje del análisis químico realizado a la colada del proceso de fundición.

**Tabla 4.** Análisis químico

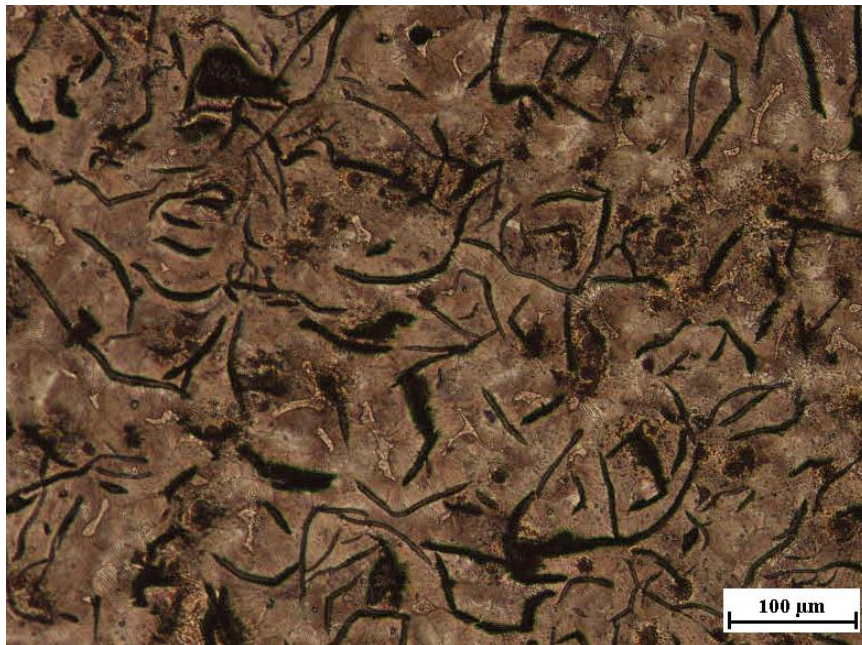
<b>ELEMENTOS</b>	<b>%</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>%</b>
Fe	93.10	Al	0.003
C	3.468	Cu	0.222
Si	2.216	Pb	0.020
Mn	0.297	Sn	0.012
S	0.222	Pl	0.018
P	0.184	V	0.019
Ni	0.114	Sb	0.000
Cr	0.104	Zr	0.000
Mo	0.000	Zn	0.001
Fe	93.10		

## 6.2 RESULTADOS METALOGRAFICOS

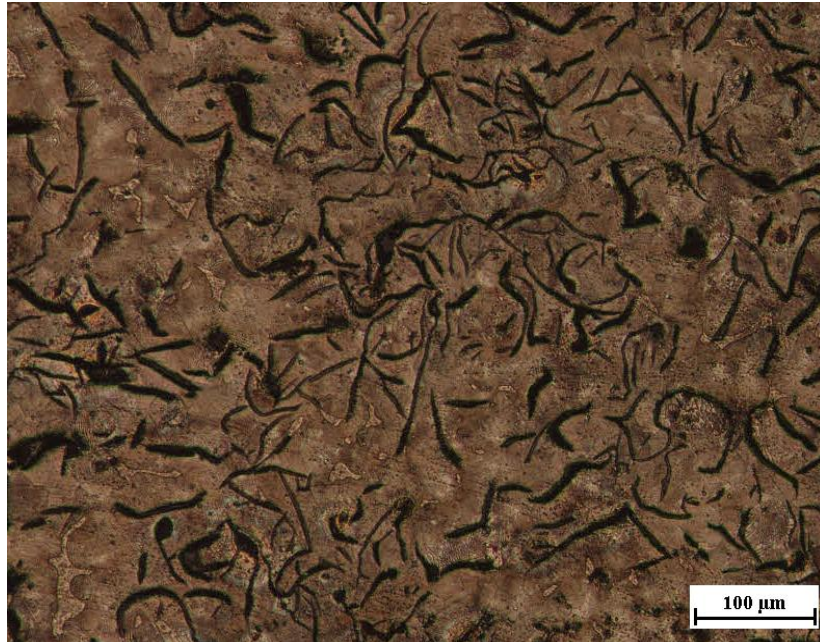
Las siguientes microestructuras ilustradas en este capítulo son el resultado de los ensayos metalográficos aplicadas a las 13 probetas seleccionadas como material base.

### PROBETA # 1

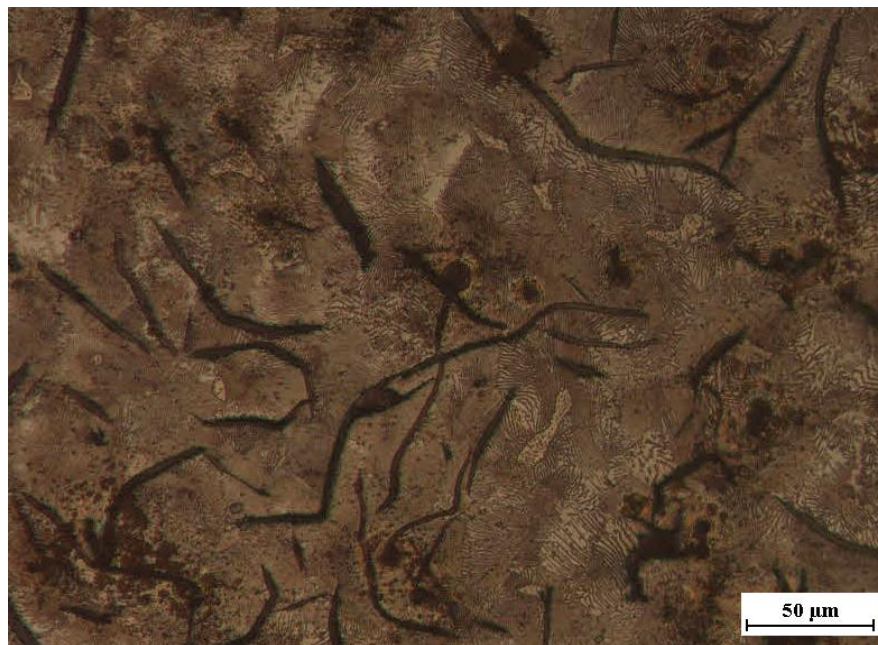
**Figura 27.** Fundición gris perlítica, grafito tipo A, con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.



**Figura 28.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A, B y C con presencia de esteadita. Nital 2%.



**Figura 29.** Fundición gris predomina matriz perlítica grafito tipo A. Nital 2%. 50X.



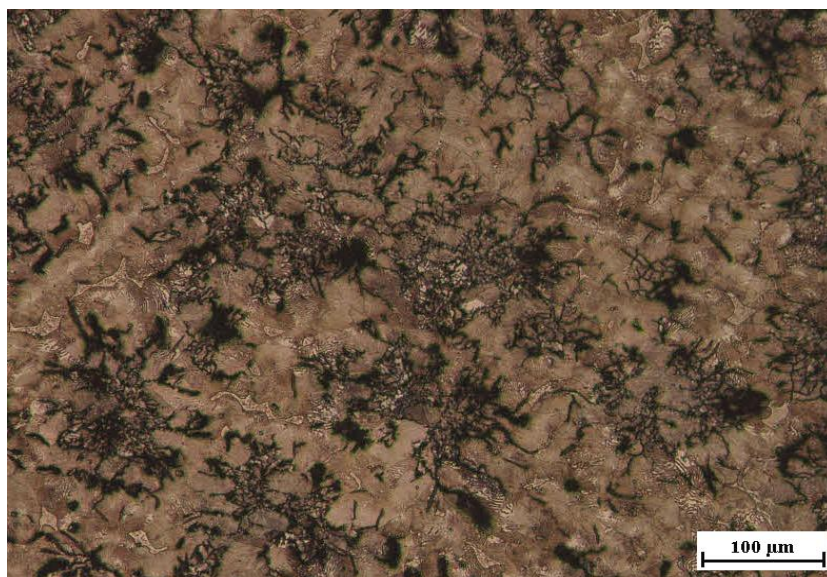


## PROBETA # 2

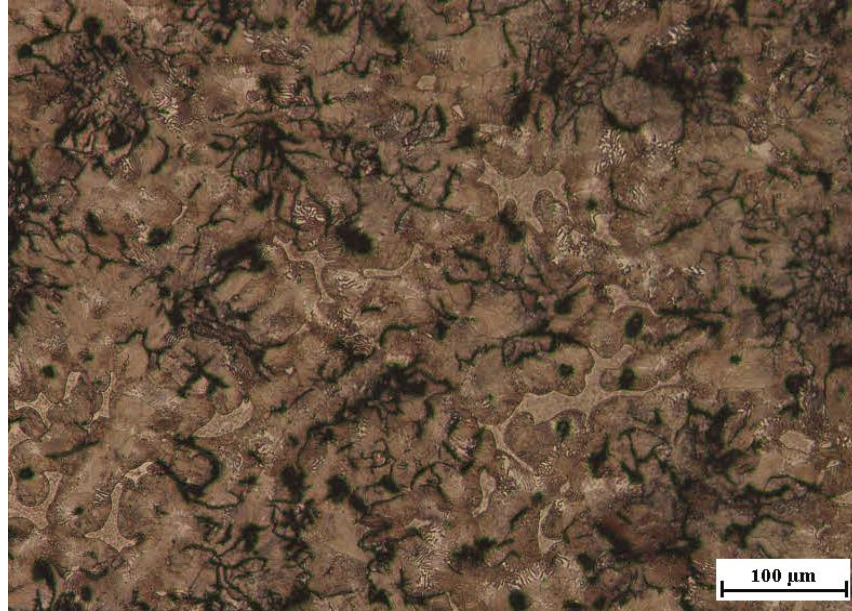
**Figura 30.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.



**Figura 31.** Fundición gris perlítica grafito tipo B con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.

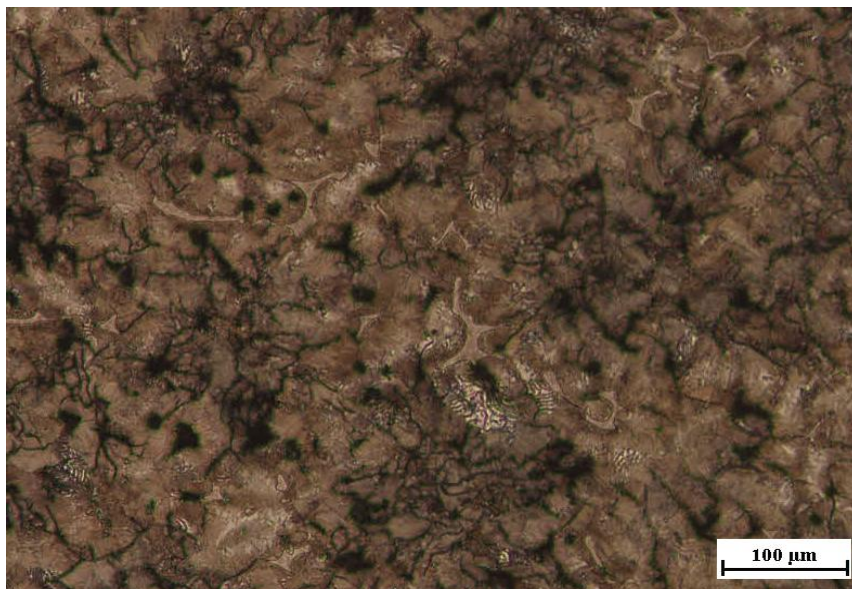


**Figura 32.** Fundición gris perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.



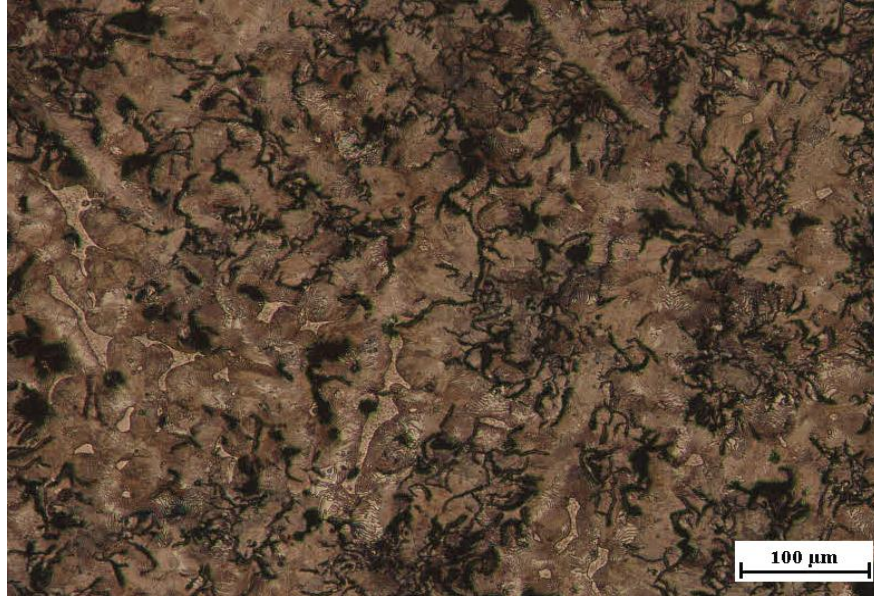
### PROBETA # 3

**Figura 33.** Fundición gris, perlítica grafito tipo B con esteadita. Nital 2%. 10X.



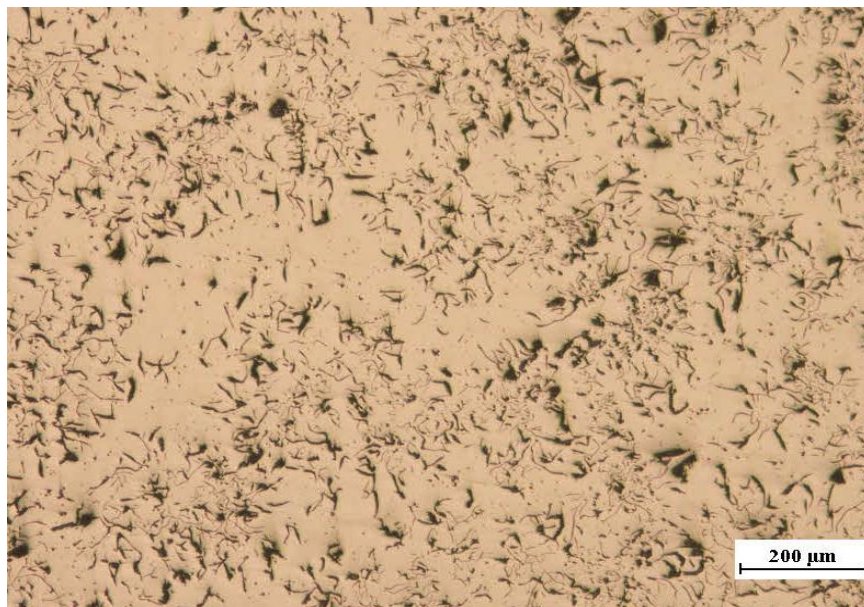


**Figura 34.** Fundición gris, grafito tipo B con esteadita y carburos disueltos. Nital 2%. 10X.

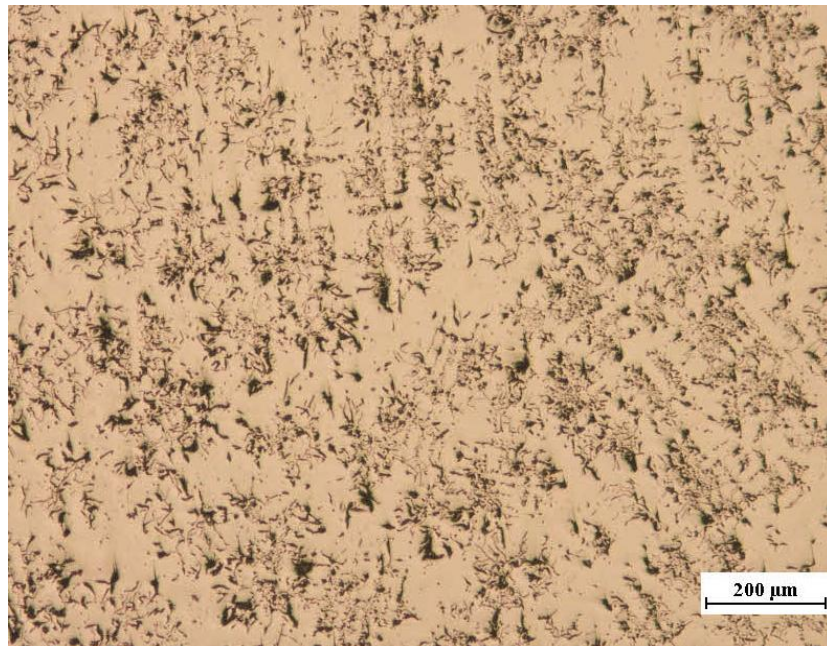


**PROBETA # 4**

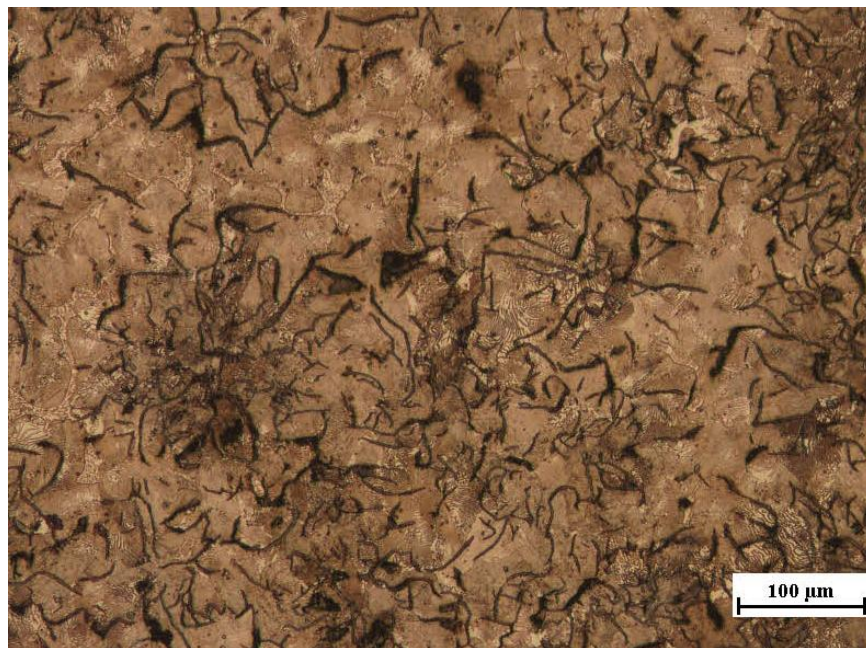
**Figura 35.** Fundición gris, grafito tipo A y C. sin ataque. 5X.



**Figura 36.** Fundición gris, grafito tipo B sin ataque. 5X

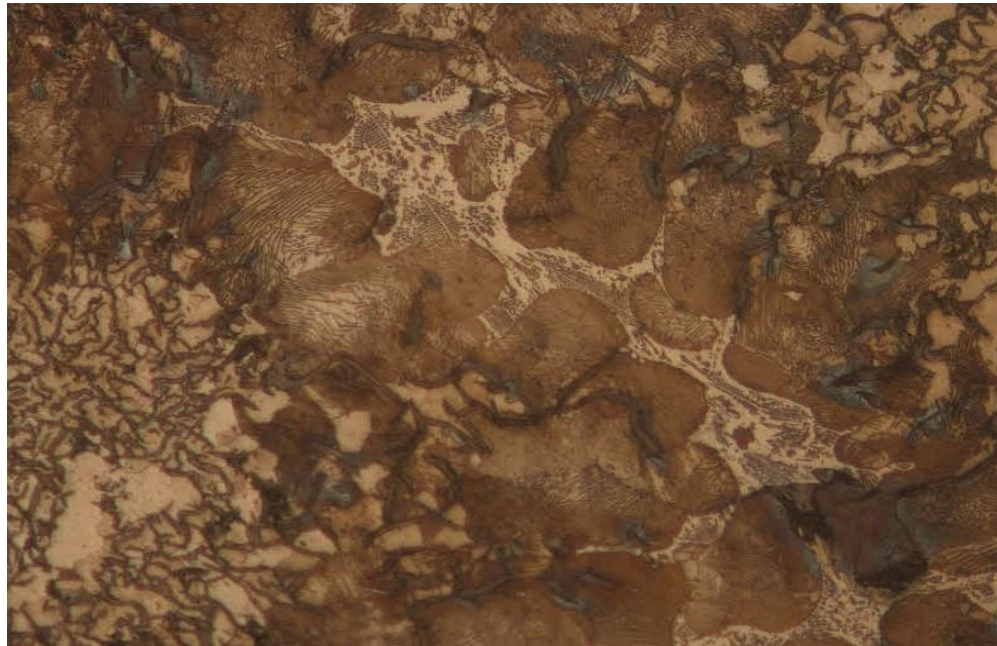


**Figura 37.** Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B y C, con presencia de esteadita.

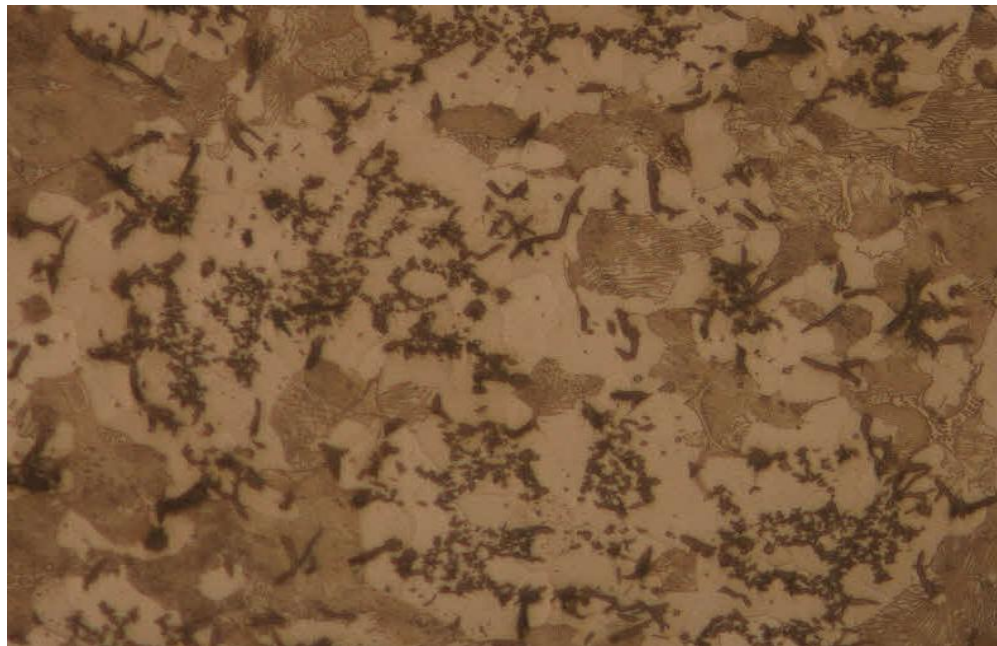




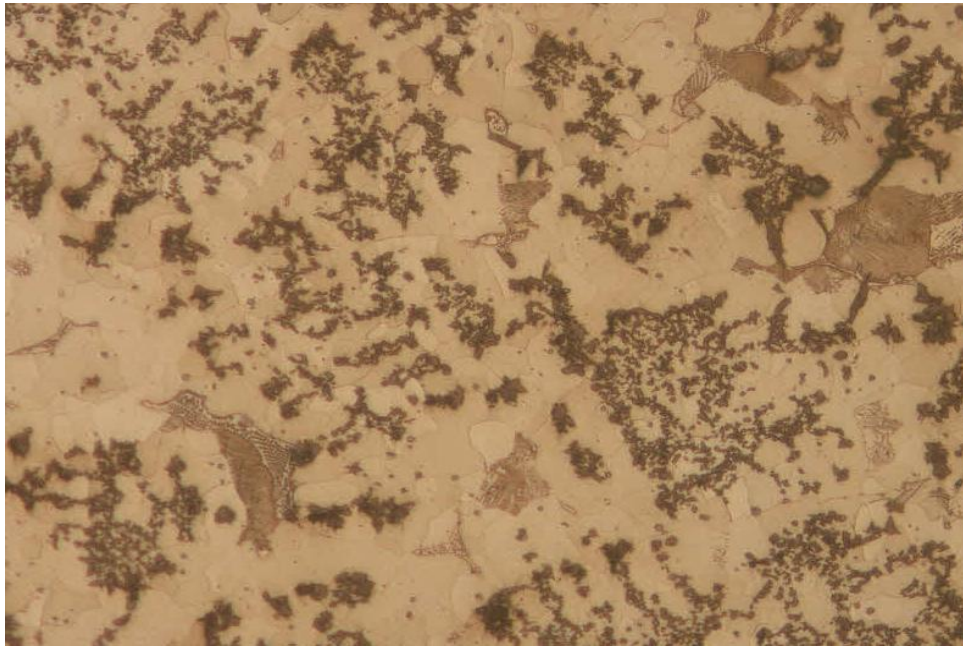
**Figura 38.** Fundición gris, matriz perlítica con esteadita. Nital 2 %. 20X.



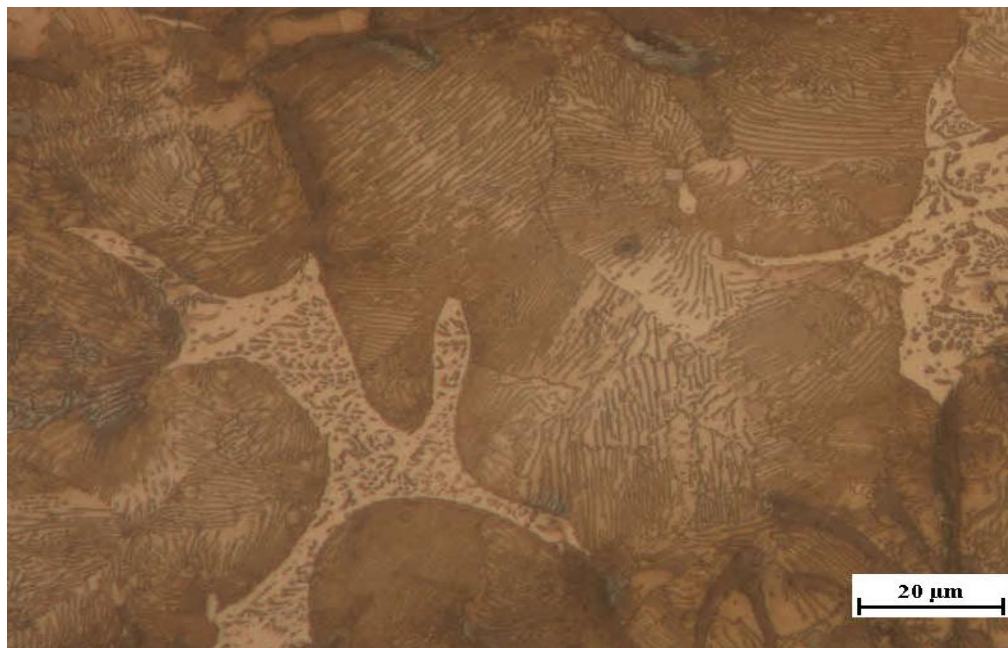
**Figura 39.** Fundición gris 50%perlítica y 50 % ferrítica. Nital 2%. 20X.



**Figura 40.** Fundición gris predominantemente ferrítica. Nital 2%. 20X.

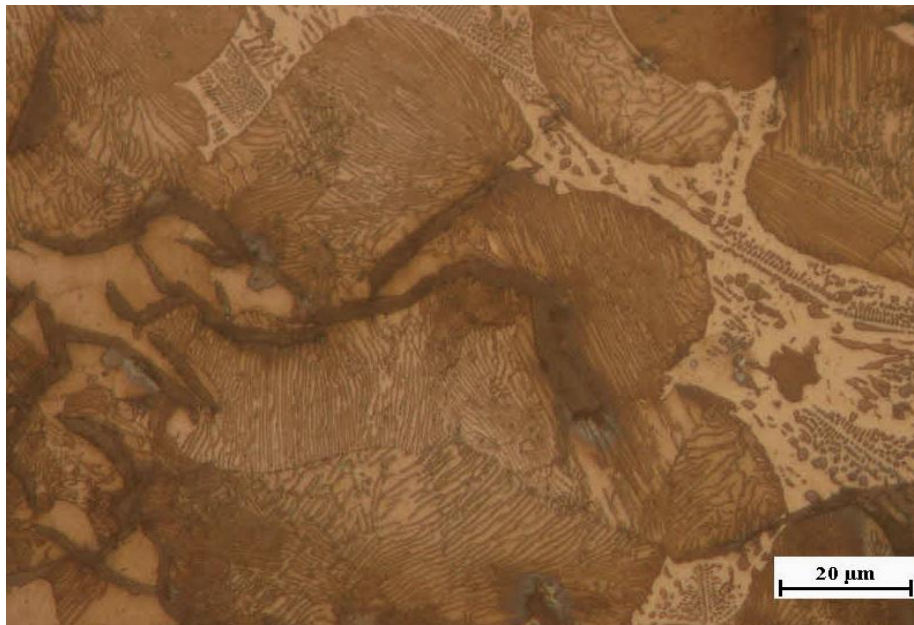


**Figura 41.** Fundición gris, matriz perlítica, presenta precipitados de esteadita. Nital 2%. 50X.



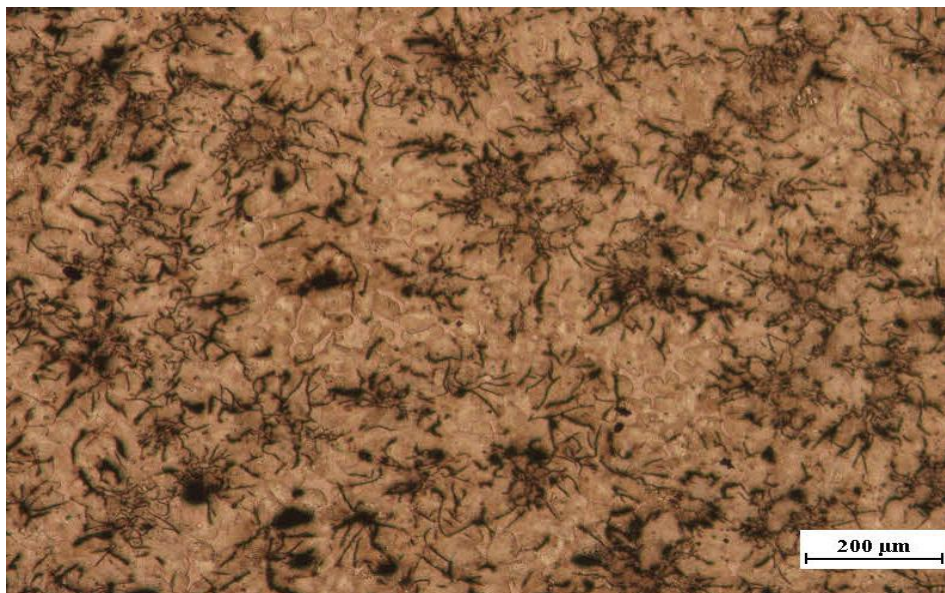


**Figura 42.** Fundición gris, perlítica con esteadita.

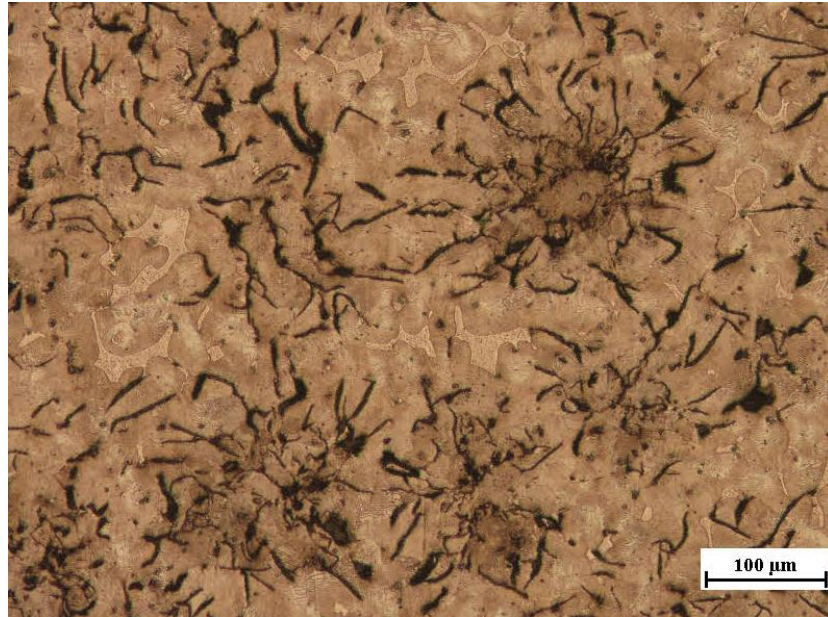


**PROBETA # 5**

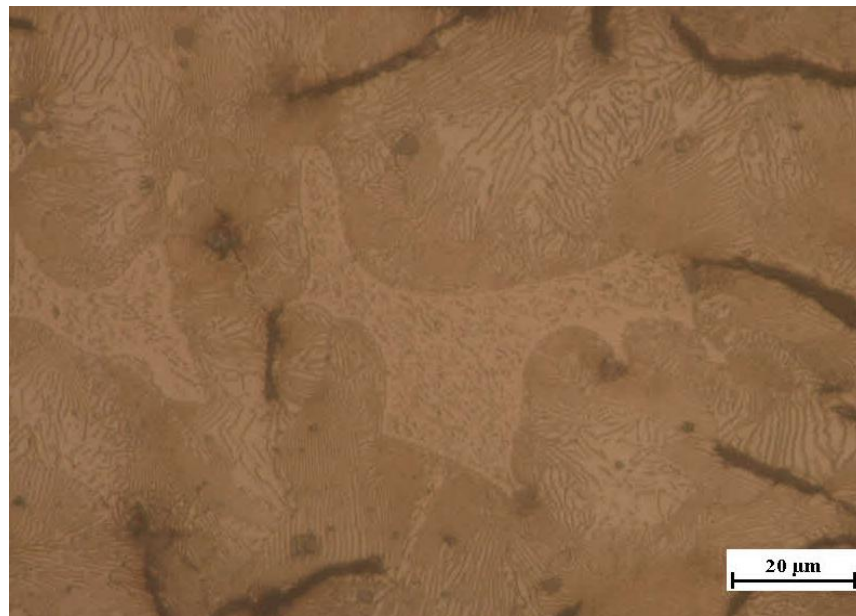
**Figura 43.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo B. Nital 2%. 5X.



**Figura 44.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo B con esteadita. Nital 2%. 10X.



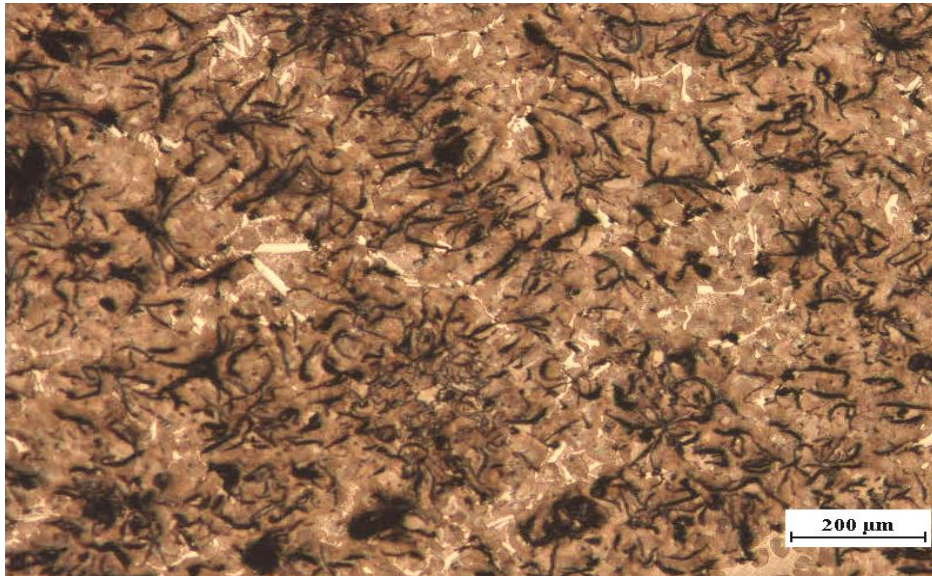
**Figura 45.** Fundición gris, matriz perlítica con esteadita. Nital 2%. 50X



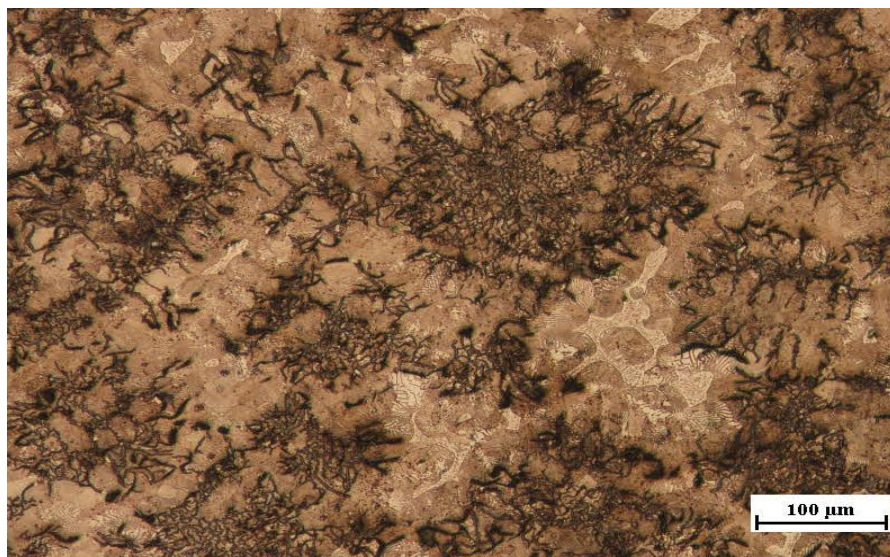


**PROBETA # 6**

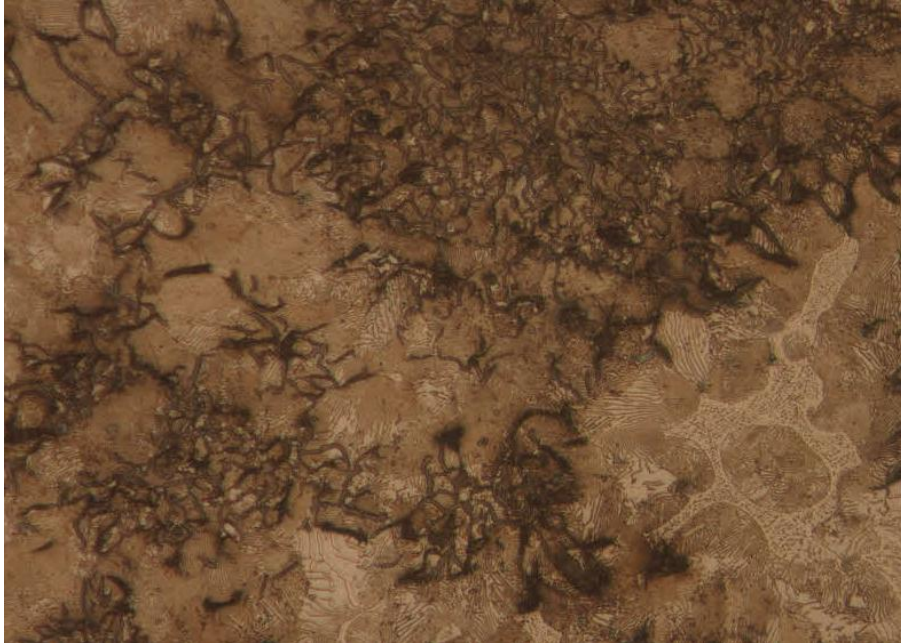
**Figura 46.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo B con carburos dispersos. Nital 2%. 5X.



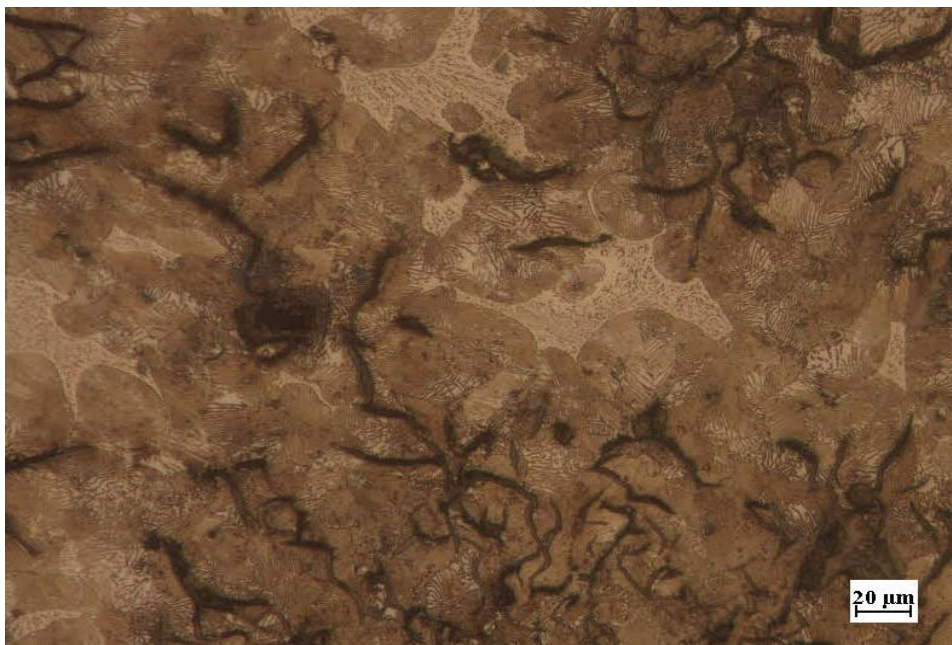
**Figura 47.** Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B con esteadita. Nital 2%. 10X.



**Figura 48.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo B con esteadita. Nital 2%. 20X.

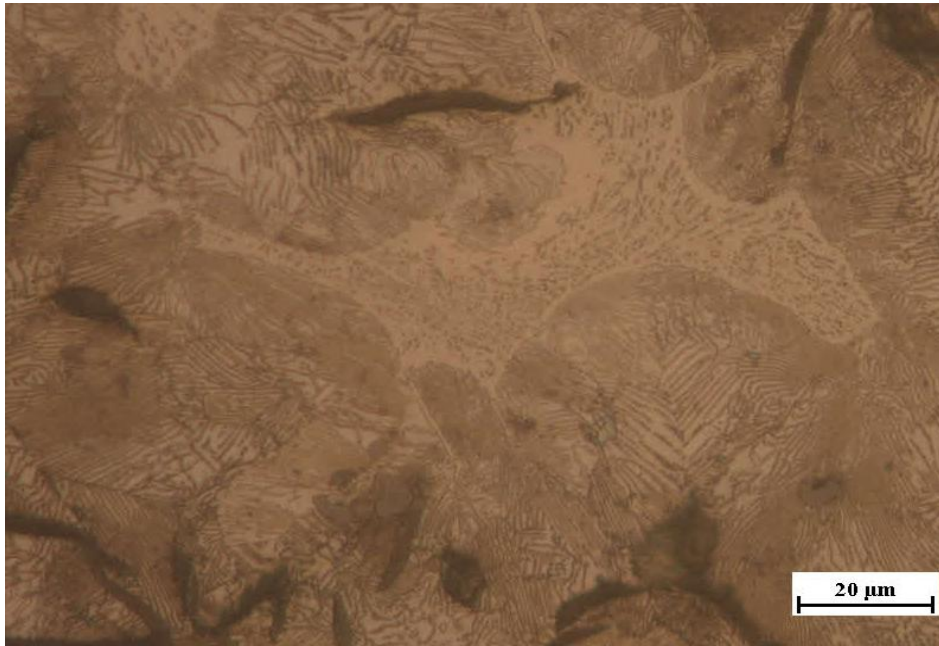


**Figura 49.** Fundición gris matriz perlítica con esteadita. Nital 2%. 20X.





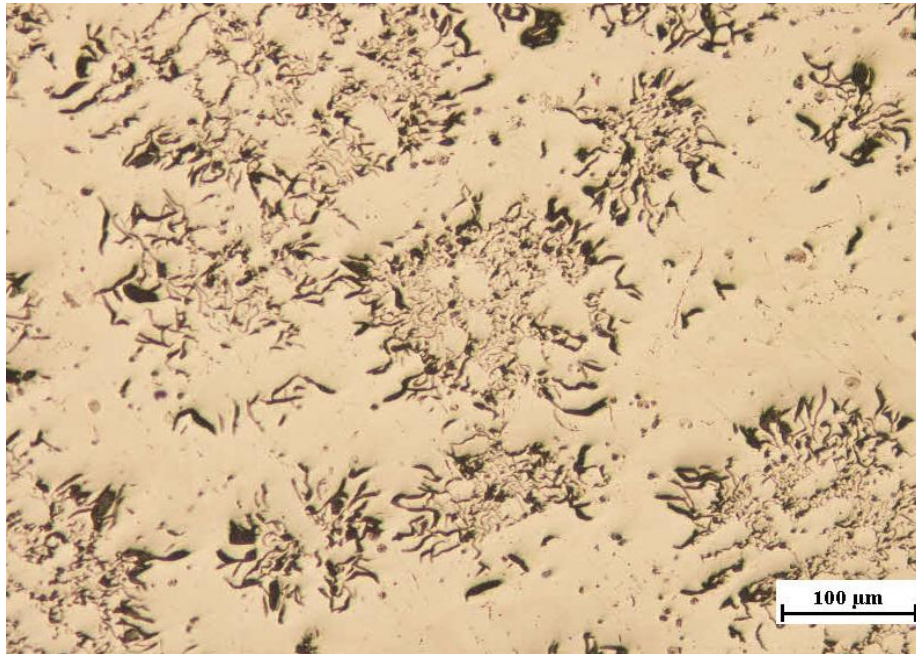
**Figura 50.** Fundición gris perlítica, con esteadita. Nital 2 %. 50X.



**Figura 51.** Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B, con carburos dispersos. Nital 2%. 5X.



**Figura 52.**Fundición gris, grafito tipo B, tamaño 6, sin ataque. 10X.



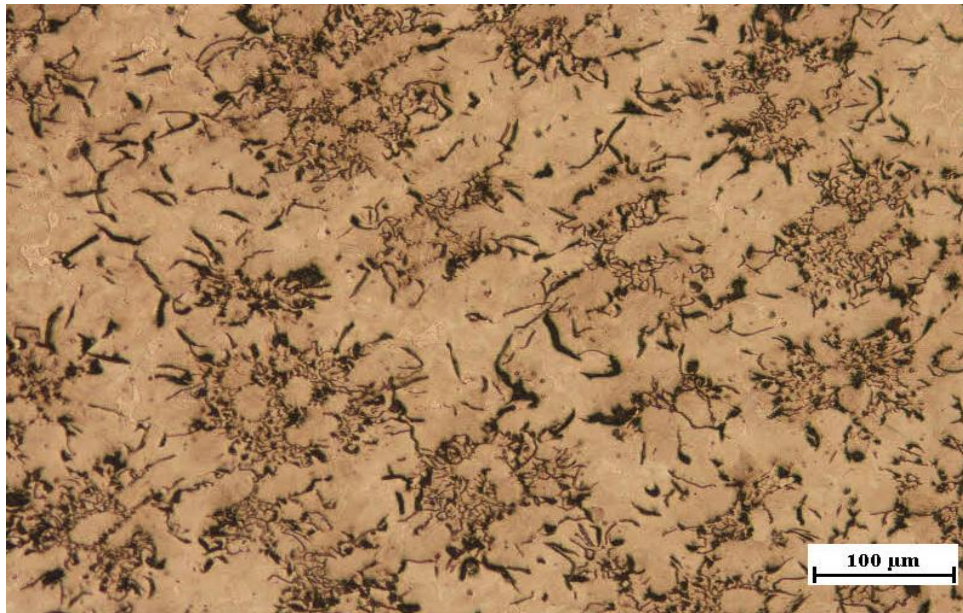
**Figura 53.**Fundición gris, grafito tipo A sin ataque. 5X.



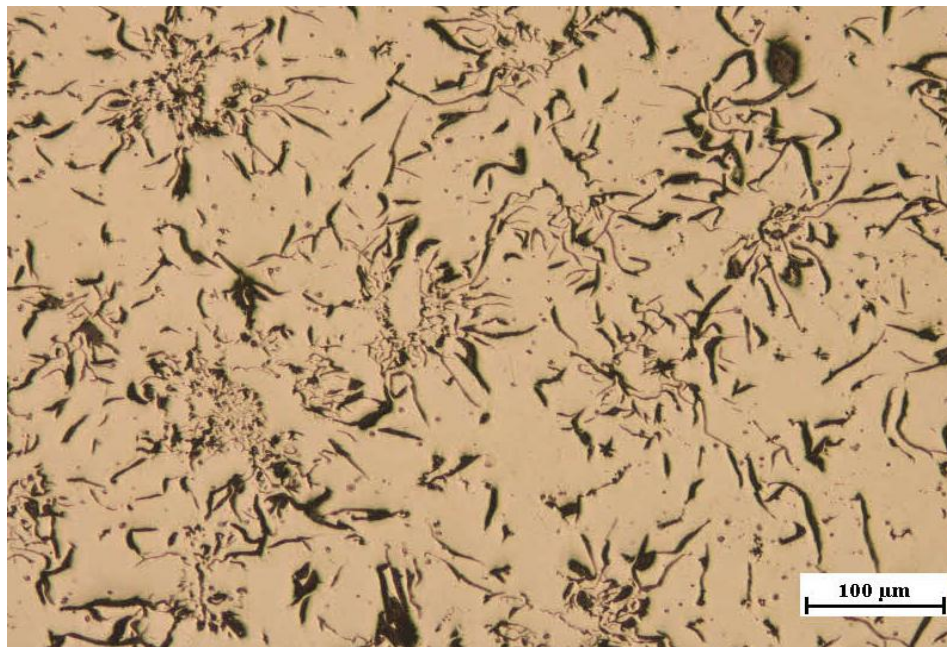


**PROBETA # 7**

**Figura 54.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo B. Nital 2% 10X.

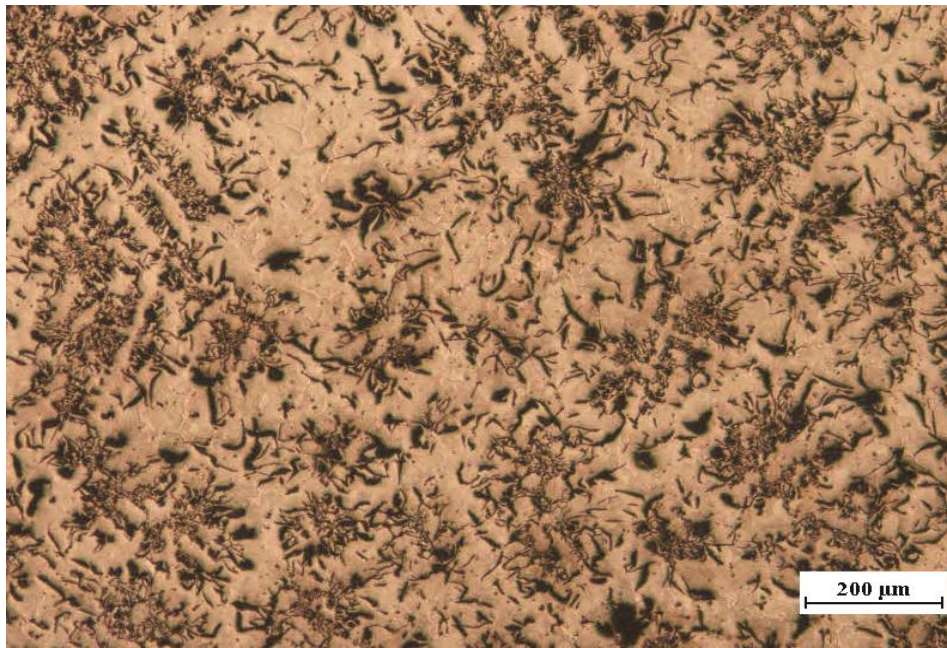


**Figura 55.** Fundición gris, grafito tipo B tamaño 5 sin ataque.



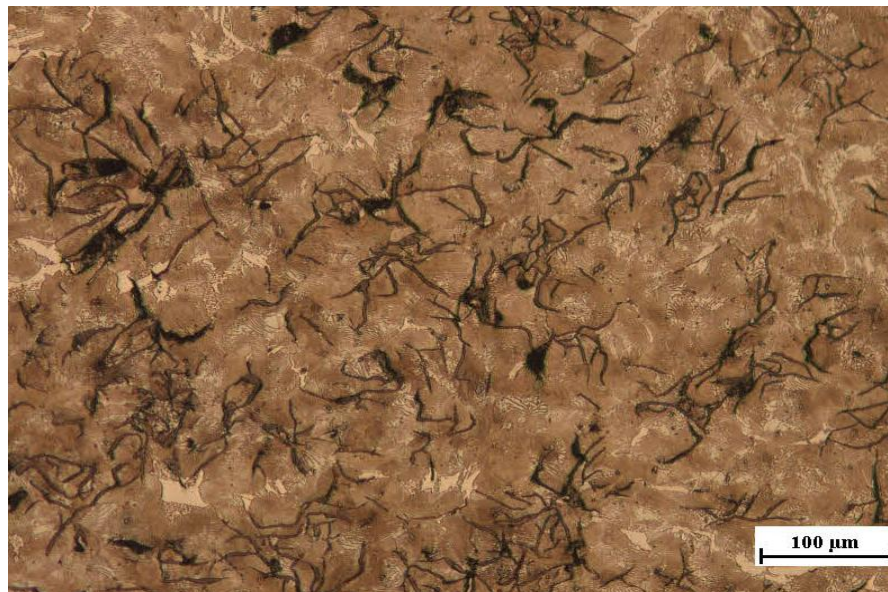


**Figura 56.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A y B. Nital 2 %. 10 X.

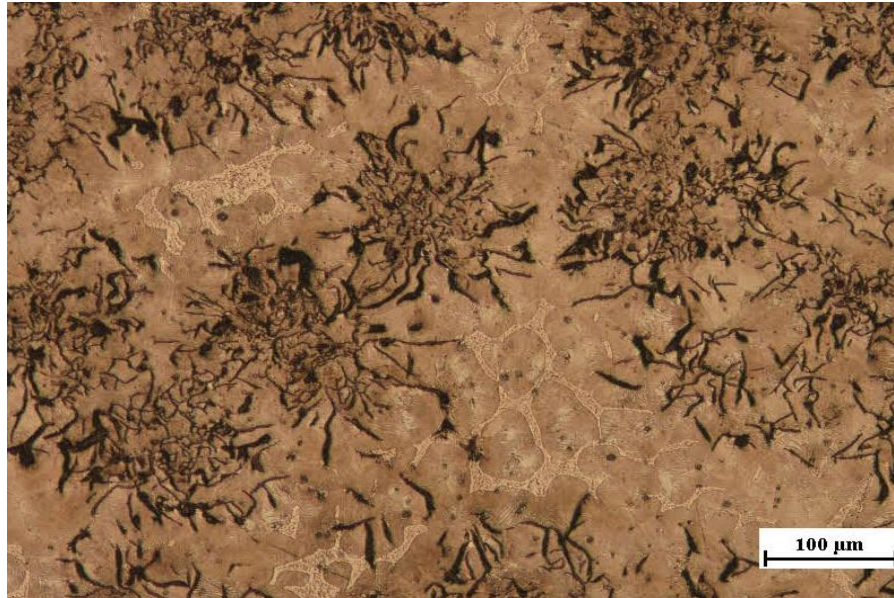


**PROBETA # 8**

**Figura 57.** Fundición gris, matriz perlítica grafito tipo B. Nital 2%. 10X.



**Figura 58.** Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B, con esteadita. Nital 2%. 10X.

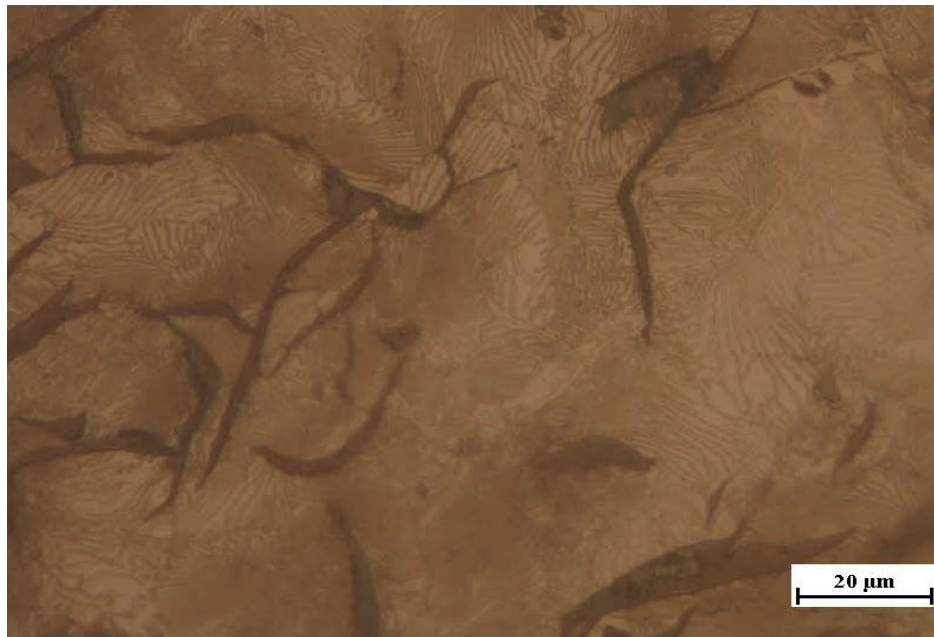


**Figura 59.** Fundición gris, matriz perlita. Nital 2% 20X.



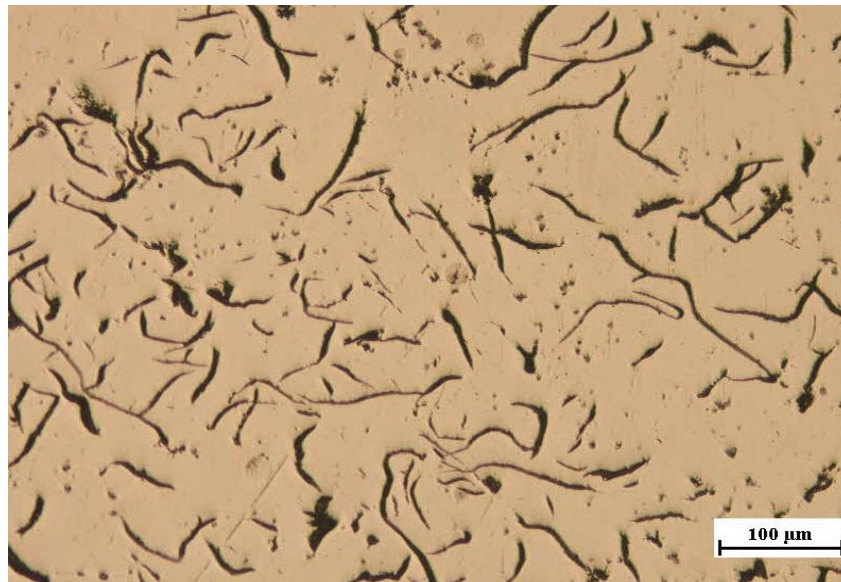


**Figura 60.** Fundición gris, matriz perlítica gruesa. Nital 2%.50X.



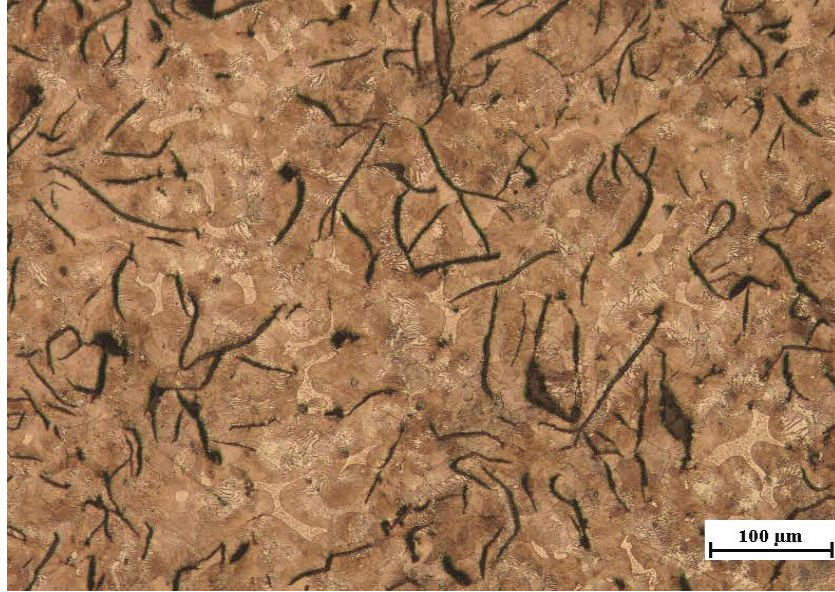
## PROBETA 9

**Figura 61.** Fundición matriz gris, grafito tipo A, tamaño 4 sin ataque. 10X.

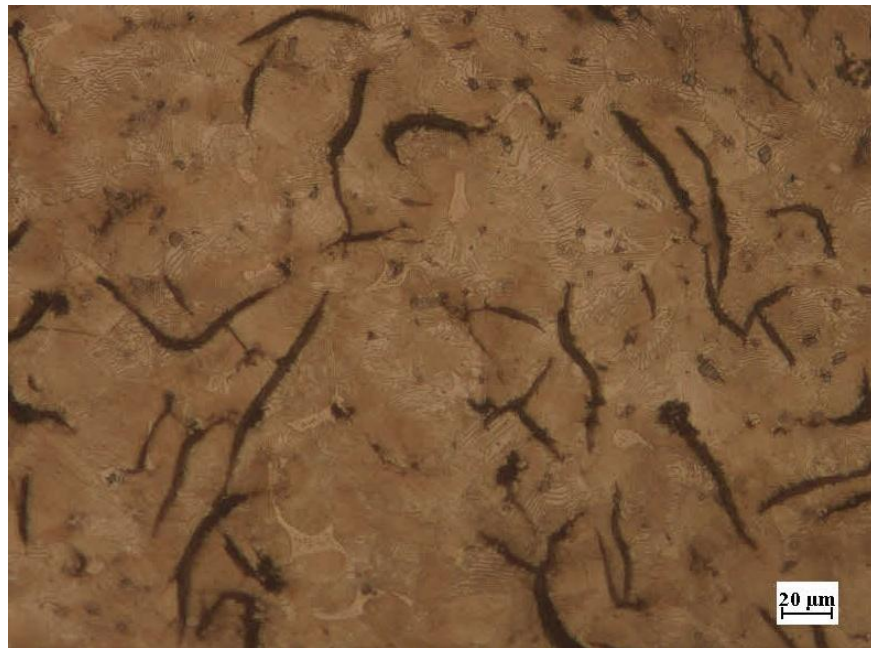




**Figura 62.** Fundición gris perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.

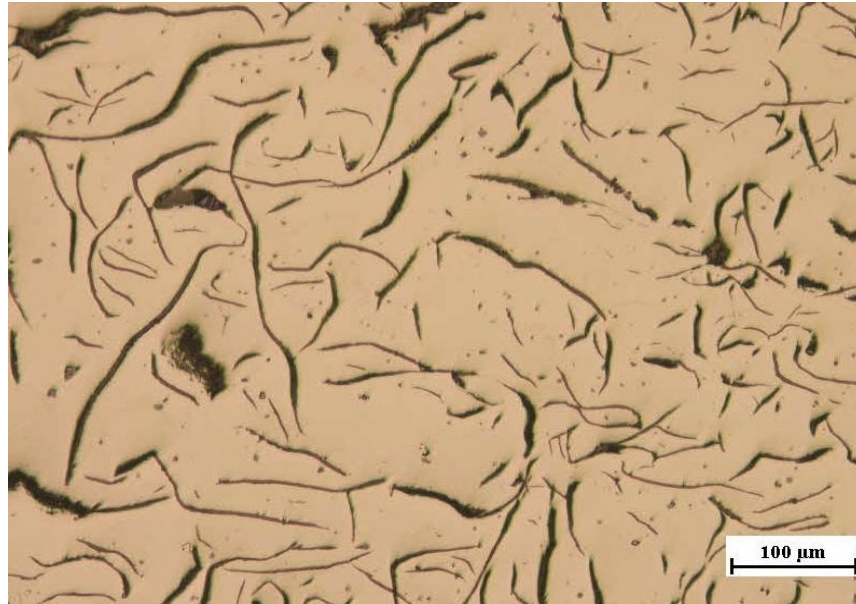


**Figura 63.** Fundición gris perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.

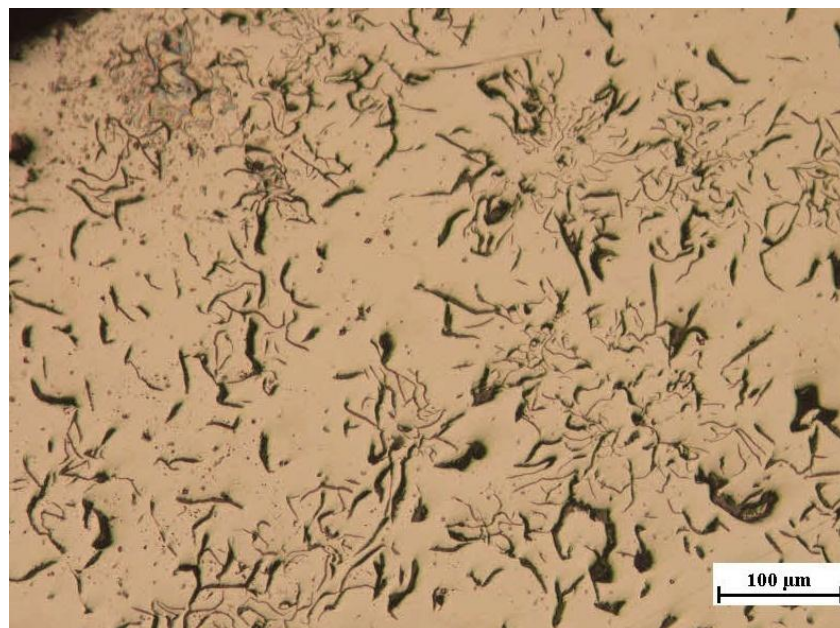


**PROBETA # 10**

**Figura 64.** Fundición gris, grafito tipo A, tamaño 6 sin ataque. 10X.



**Figura 65.** Fundición gris, grafito tipo B y tamaño 6. Sin ataque. 10X.

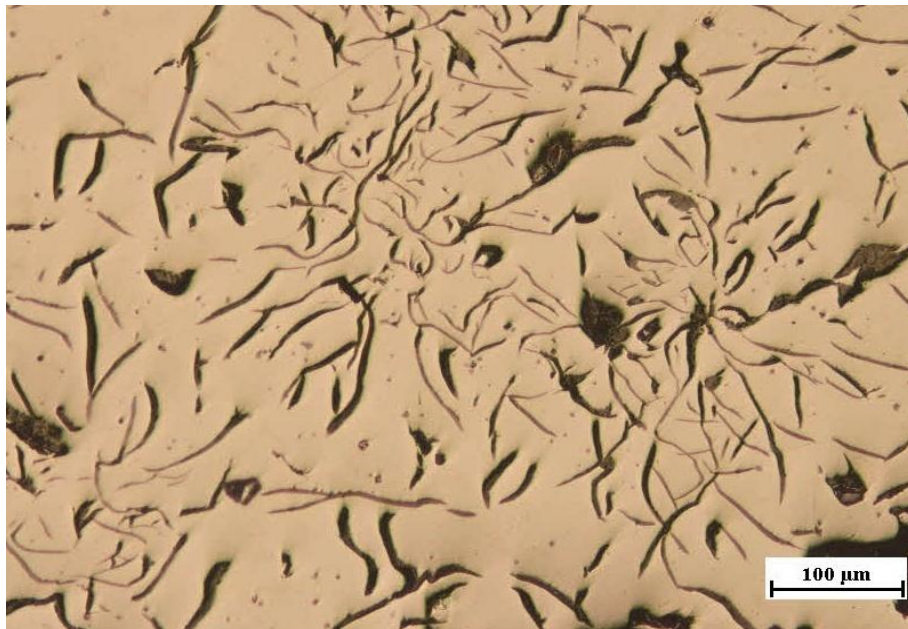




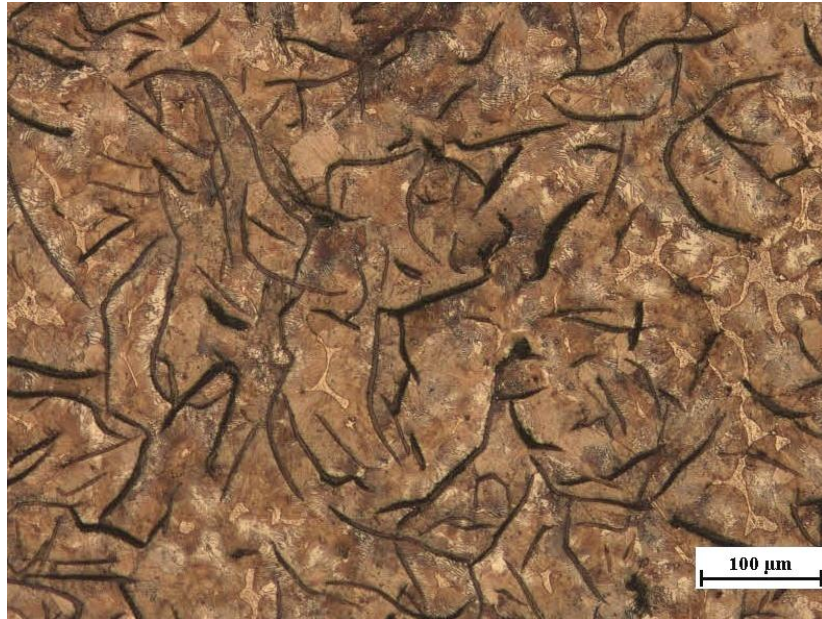
**Figura 66.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo B, con carburos y esteadita disueltos. 10X (foto).



**Figura 67.** Fundición gris, grafito tipo C, tamaño 4. Sin ataque 10X.



**Figura 68.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.



**Figura 69.** Fundición gris perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.



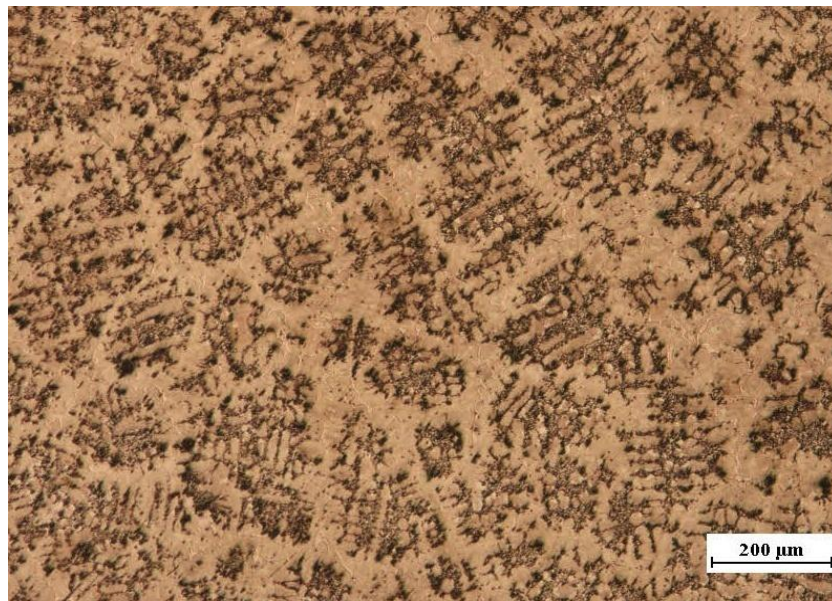


**Figura 70.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A. Nital 2%. 20X.

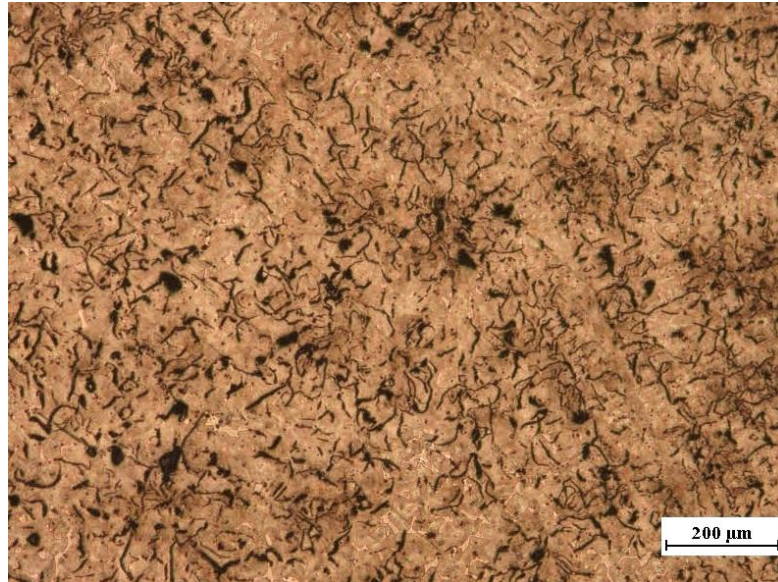


**PROBETA # 11**

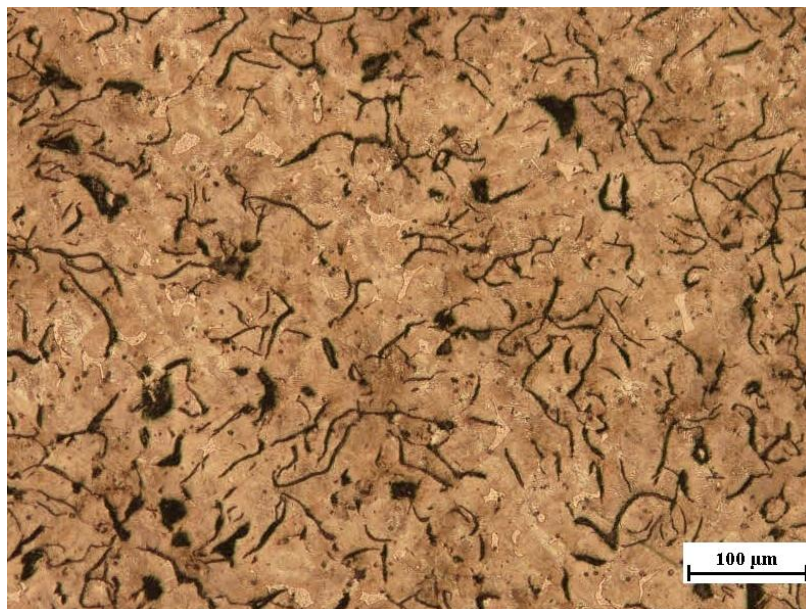
**Figura 71.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo D. Nital 2 %.20X.



**Figura 72.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.

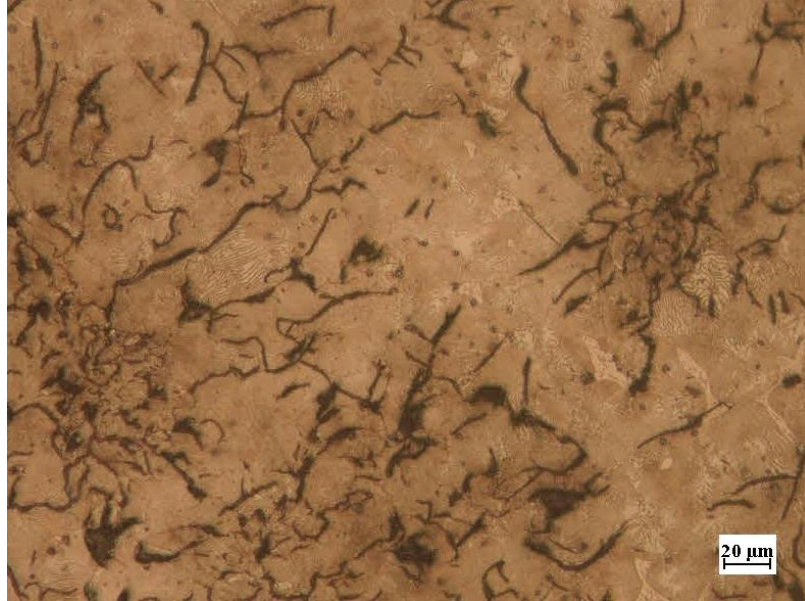


**Figura 73.** Fundición gris perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.



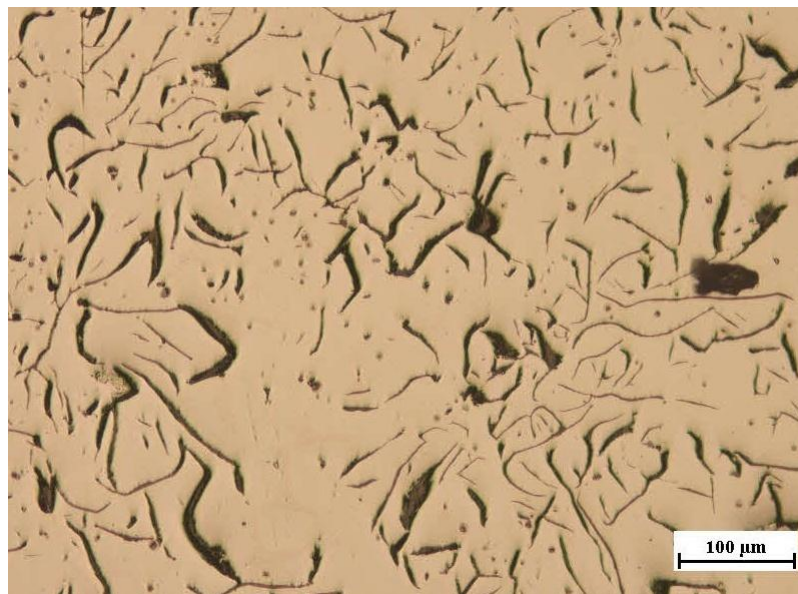


**Figura 74.** Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita. 20X.



**PROBETA # 12**

**Figura 75.** Fundición gris, grafito tipo C, tamaño 4, sin ataque. 10X.



**Figura 76.** Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo A, con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.



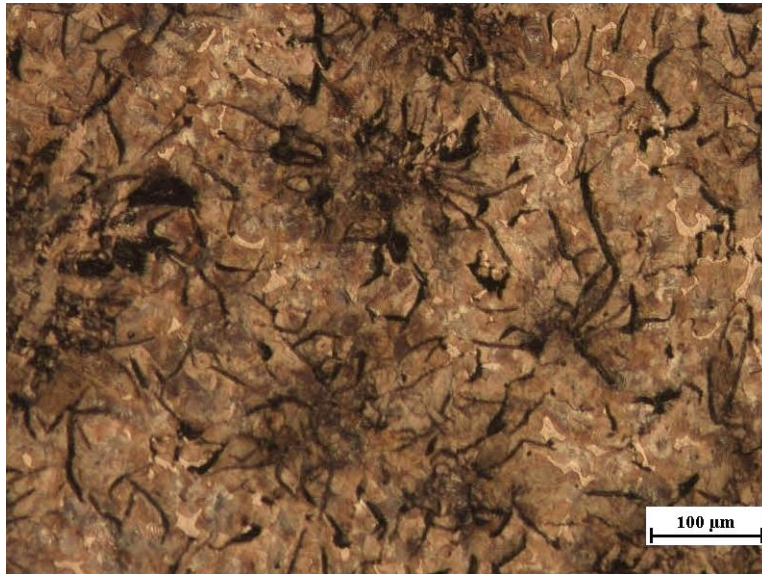
**Figura 77.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.





**PROBETA # 13**

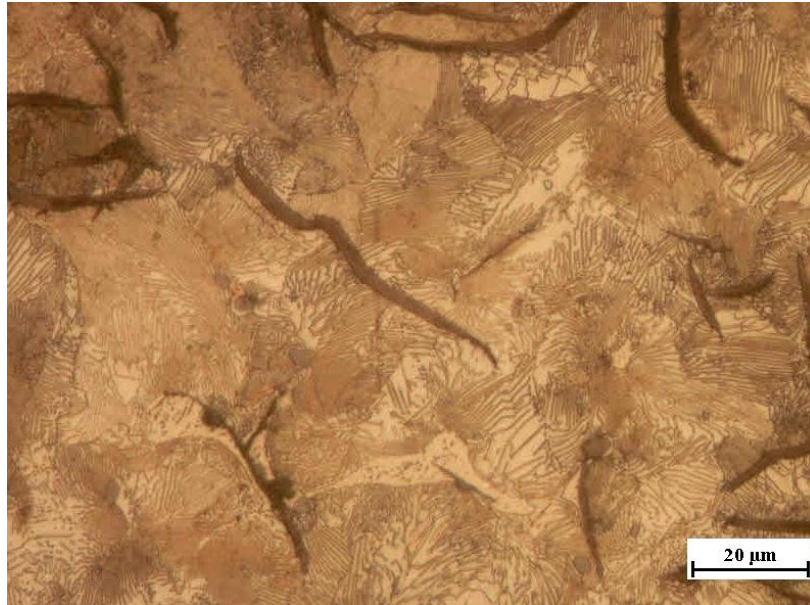
**Figura 78.** Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita. Nital 2%. 10X.



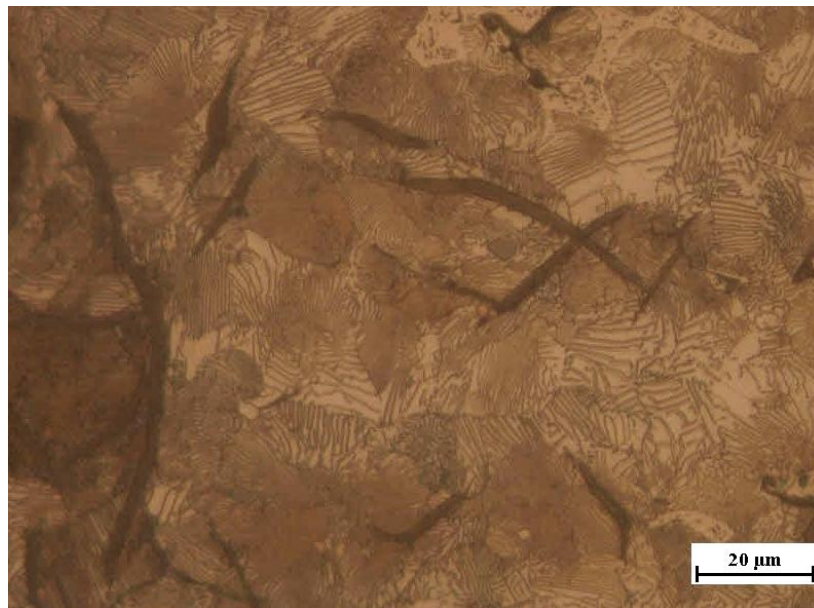
**Figura 79.** Fundición gris matriz perlítica con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.



**Figura 80.** Fundición gris, matriz perlita gruesa, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.



**Figura 81.** Fundición gris, matriz perlítica gruesa, grafito tipo A. Nital 2%.20X.



## 7. CONCLUSIONES

Se presenta en algunas de las muestras, la fase esteadita que es un compuesto de carbono, hierro y fósforo. Este compuesto se forma muy posiblemente por la presencia de fósforo en el coque metalúrgico.

La matriz de la fundición fue predominantemente perlítica, que es la fase que le da resistencia y dureza a la fundición gris.

A todas las aleaciones se les agregó 250 gramos de ferrosilicio a 50kg de aleación, como inoculante, pero en las muestras se observa la presencia de grafitos tipo B y C. Esto se debe posiblemente al espesor de las piezas vaciadas que estuvo alrededor de los 4cm.

Todas las metalografías corresponden a la misma colada, pero se observan notables diferencias en la microestructura, esto puede ser debido a las diferencias de temperaturas de vaciado. Primero la cúpula está fría y después de la tercera colada se calienta y cambia las condiciones de fusión.

No se observa en las estructuras la cementita pura, que es característica de bajos contenidos de silicio y velocidades de solidificación rápidas.

Se observaron en algunas muestras la presencia de carburos pequeños y distribuidos en la microestructura.

Las muestras analizadas no presentaron porosidades, ni inclusiones no metálicas.

El material producido por la cúpula es aceptable, pero un mayor control del proceso permitiría mejorar las características del metal.

## RESUMEN

Este informe presenta un análisis metalográfico detallado de trece probetas de fundición gris donde se observan defectos que se presentan debido al proceso de fundición. Estas muestras fueron obtenidas de un proceso de fusión en el taller de fundición del instituto tecnológico pascual bravo institución universitaria.

Las muestras se prepararon mediante un método de desbaste y pulido el cual permite realizar un análisis metalográfico. A cada una de ellas se le tomaron fotos en el microscopio y se analizaron sin ataque y atacadas con Nital al 2%, arrojando información que se comparó con informes escritos, libros y conocimientos de docentes en el área de la metalurgia. Luego se describieron en cada una de las fotos las características estructurales de las probetas determinando el tamaño de grano, tamaño, forma del grafito, distribución e inclusiones de las diferentes fases que tienen efecto sobre las propiedades mecánicas de la fundición.

## **BIBLIOGRAFIA**

MESA GRAJALES, Darío Hernán. Introducción al estudio de la tecnología y metalurgia de las fundiciones de hierro. Pereira: universidad tecnológica de Pereira. 2004. xx p

QUINTERO MOSCOSO, Enrique. Manual de laboratorio de materiales de ingeniería. Medellín, editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 1996, 11 p.

PRIDGEON John W. Metals handbook Metallography and Microstructures volume 9, 9 ed. ASTM international, 448 p

STEFANESCU, D M. Metals handbook, Casting volume 15, 9 ed. ASTM international, 1988. 1366 p

## **CIBERGRAFIA**

[http://materias.fi.uba.ar/6715/Material\\_archivos/Material%20complementario%2067.17/Fundiciones.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Fundiciones.pdf)

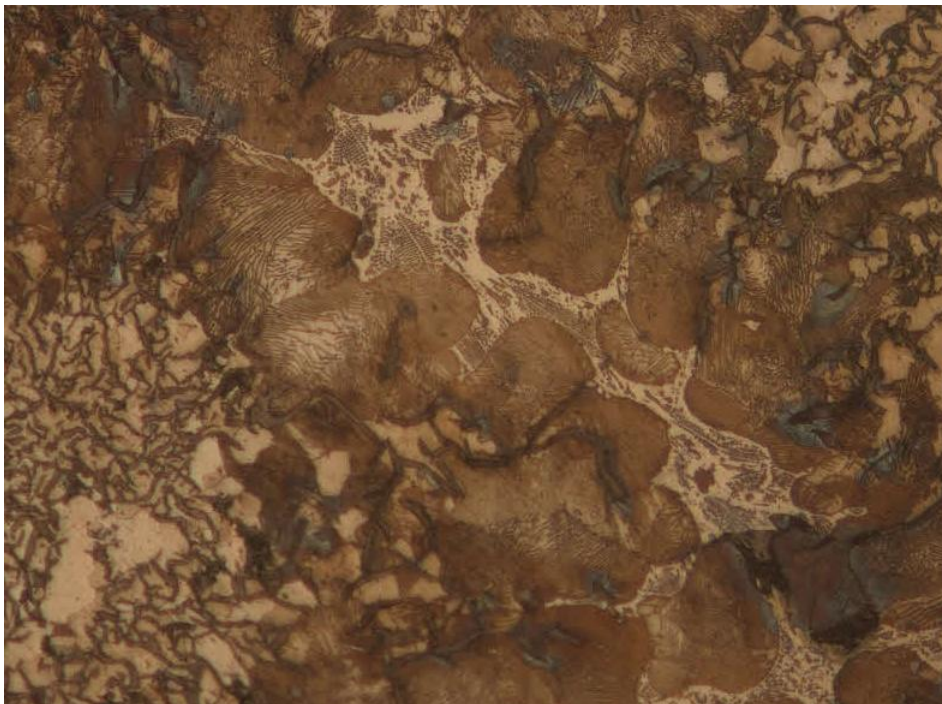
[http://www.um.edu.uy/\\_upload/\\_descarga/web\\_descarga\\_39\\_Fundicionesgrisesaleadasdealtaresistencia-IngManuelVega.pdf](http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_39_Fundicionesgrisesaleadasdealtaresistencia-IngManuelVega.pdf)



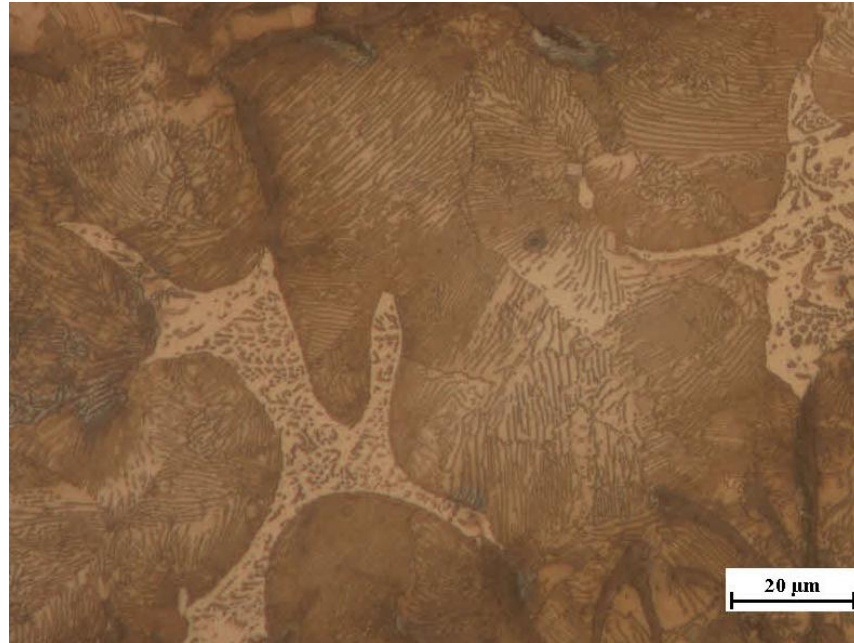
## ANEXOS

### ANEXO 1. ANÁLISIS DE LAS PROBETAS DE FUNDICIÓN

**Figura 38.** Fundición gris perlítica con esteadita. La esteadita se observa en zonas interdendríticas, la muestra presenta además zonas de ferrita.

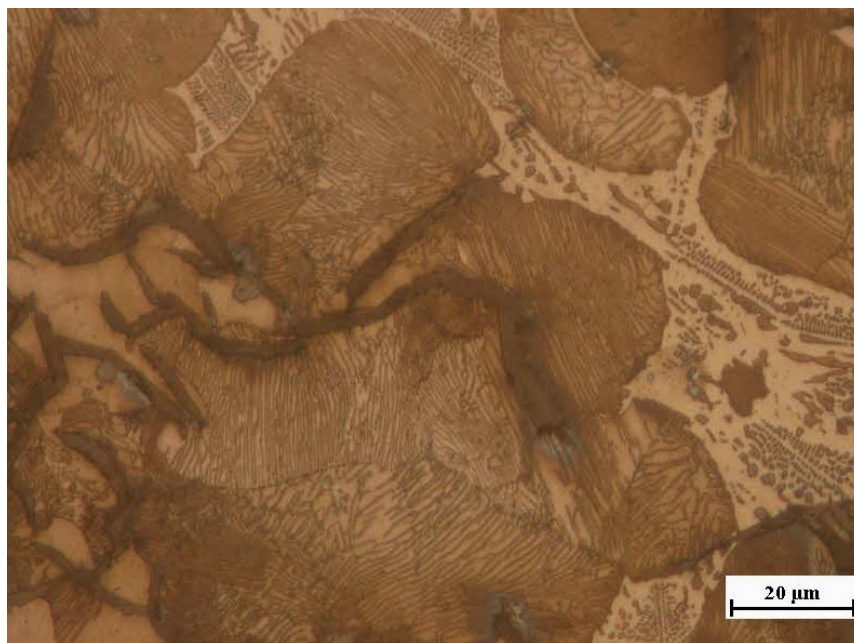


**Figura 41.** Fundición gris, matriz perlítica, presenta precipitados de esteadita.  
Nital 2%. 50X.



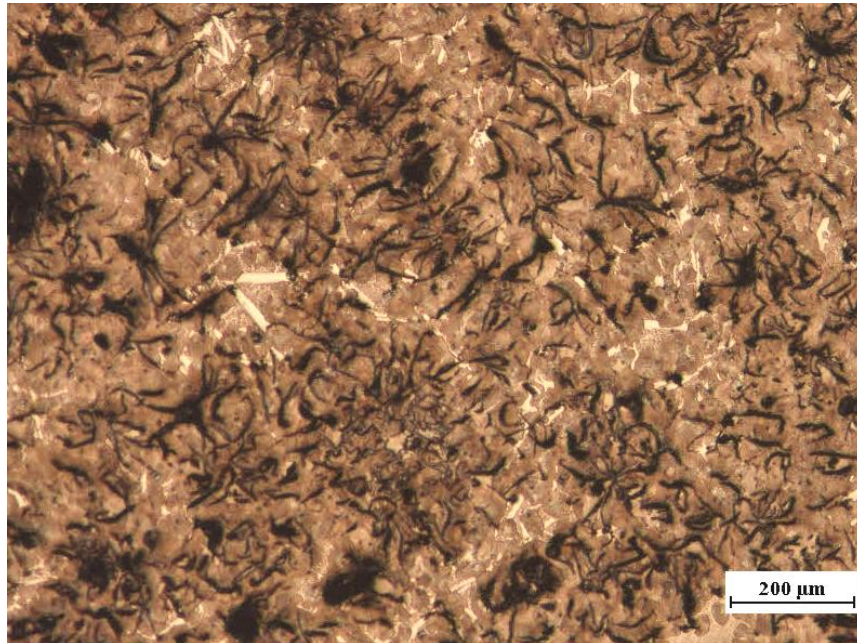
La figura 42. Presenta precipitados de esteadita, con mayor cantidad de fósforo eutéctico que la figura 41, ambas muestran una matriz perlítica gruesa.

**Figura 42.** Fundición gris, perlítica con esteadita.



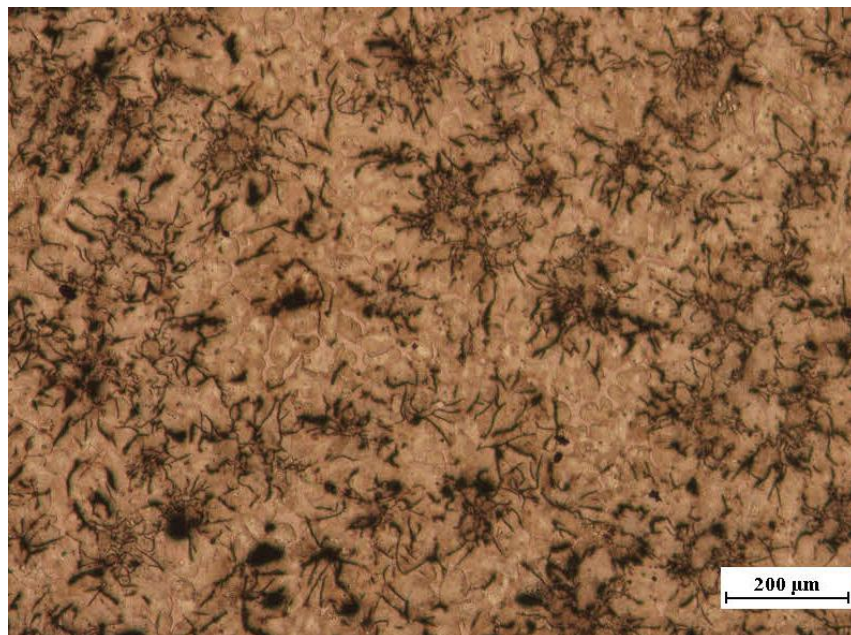


**Figura 46.** Fundición gris perlítica, grafito tipo B con carburos dispersos.



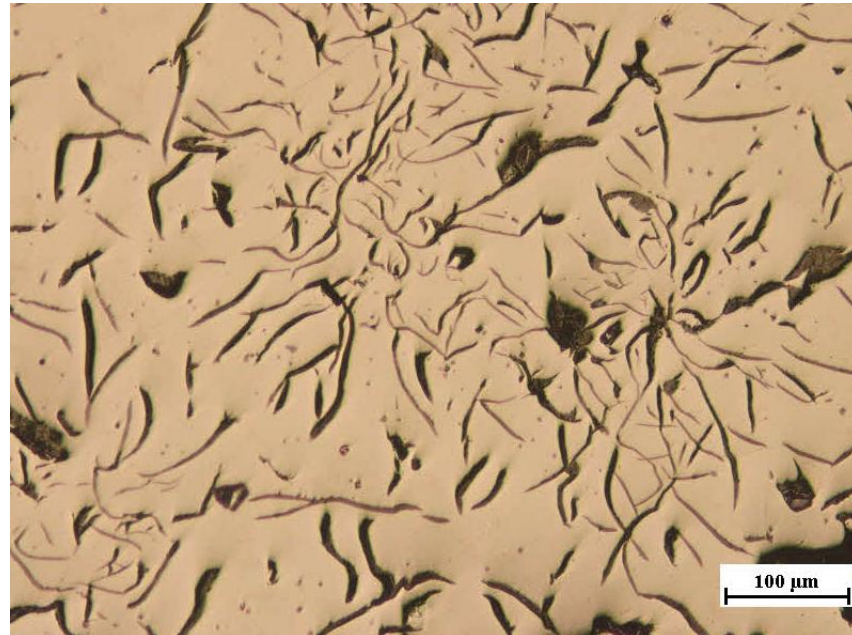
La figura 43 presenta una matriz perlítica, con un tipo de grafito tipo B (agrupación de rosetas y orientación al azar) con esteadita, se diferencia de la figura 46 en que presenta carburos libres dispersos de color blancos, ambas están atacadas al 2 % de nital y a un aumento de 5x.

**Figura 43.** Fundición gris perlítica, grafito tipo B con ataque.



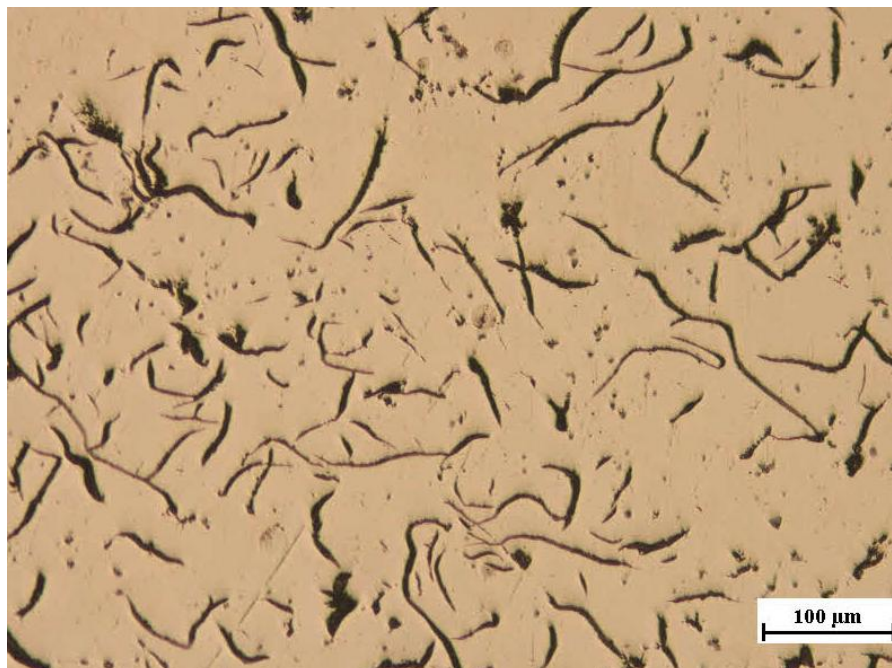


**Figura 67.** Fundición gris, grafito tipo C y tamaño 4.

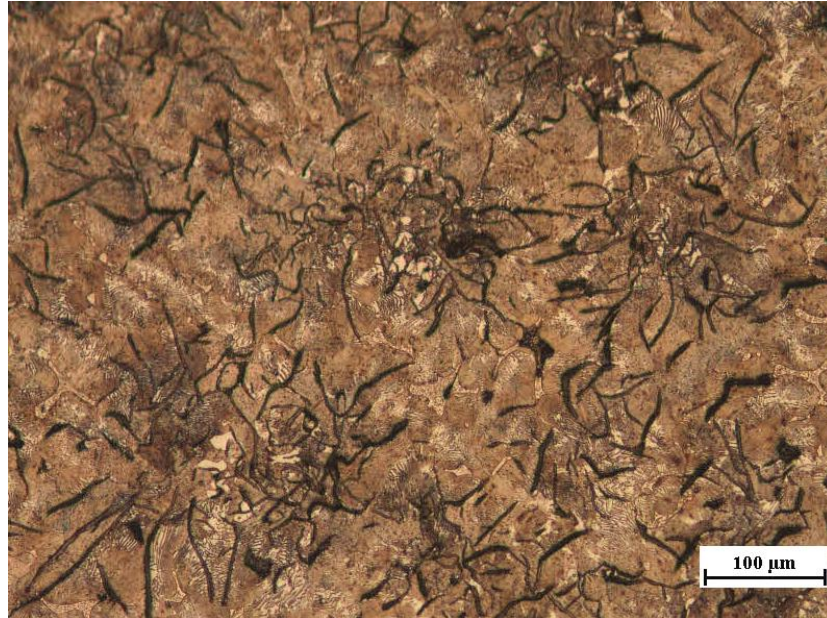


La Figura 61, presenta un tipo de grafito tipo A distribuidas uniformemente con un tamaño 4 con la diferencia de la Figura 67 con un tipo de grafito tipo B con un tamaño 5. Ambas tienen un aumento de 10 x sin ataque.

**Figura 61.** Fundición gris, grafito tipo A, tamaño 4 sin ataque

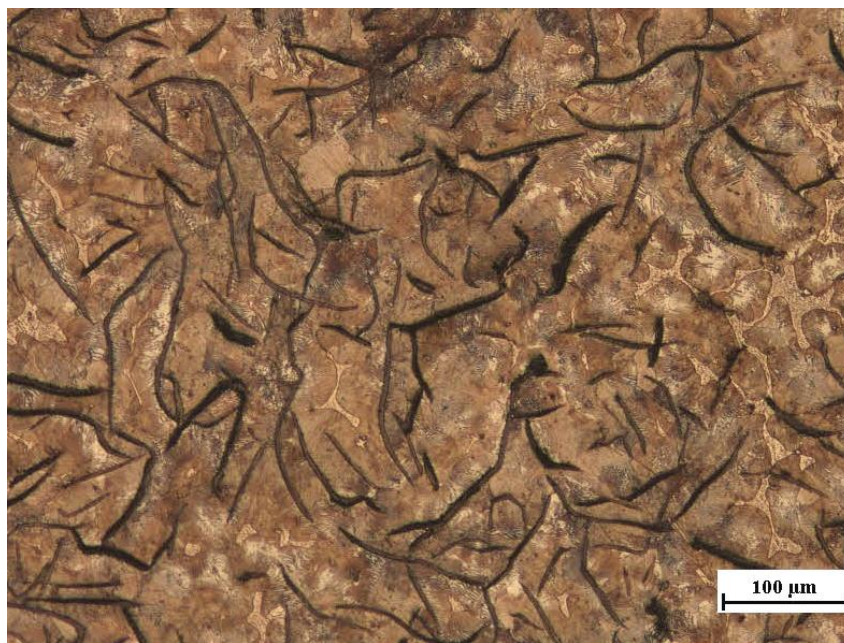


**Figura 66.** Fundición gris perlítica, grafito tipo B, con carburos y esteadita disueltos.



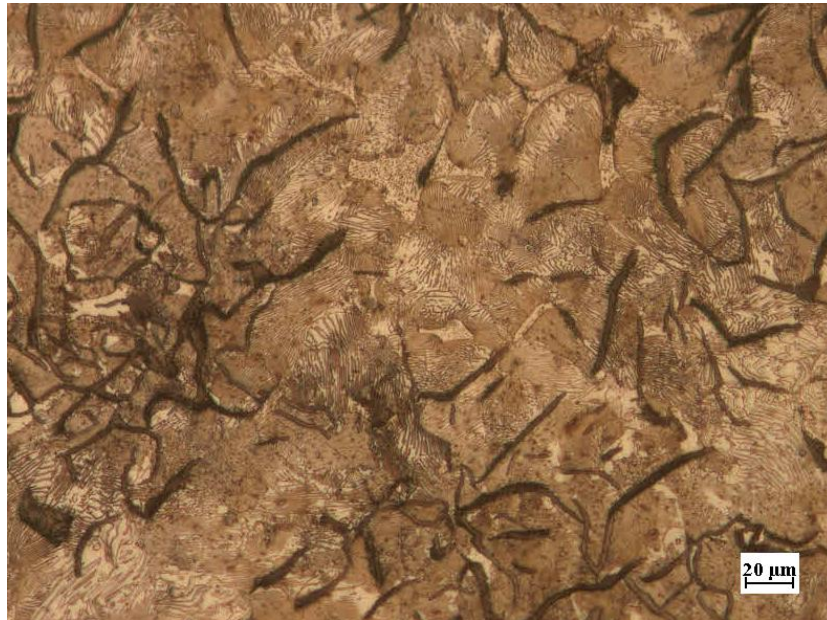
La Figura 68 presenta un tipo de distribución uniforme de grafito tipo A en una matriz perlítica, con algunos carburos libres de color blanco, a diferencia de la figura 66 que presenta un tipo de grafito tipo B (agrupación de rosetas y orientación al azar). Ambas tienen un aumento de 10 x.

**Figura 68.** Fundición gris perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita.





**Figura 69.** Fundición gris perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita.



La figura 70 presenta una matriz de perlita gruesa y finas con un tipo de grafito tipo A con una distribución uniforme al azar y presencias de esteadita a diferencia de la Figura 69 de un tipo de grafito tipo B (agrupación de rosetas y orientación al azar, ambas atacadas al 2% de nital y con aumento de 20x.

**Figura 70.** Fundición gris perlítica, grafito tipo A.



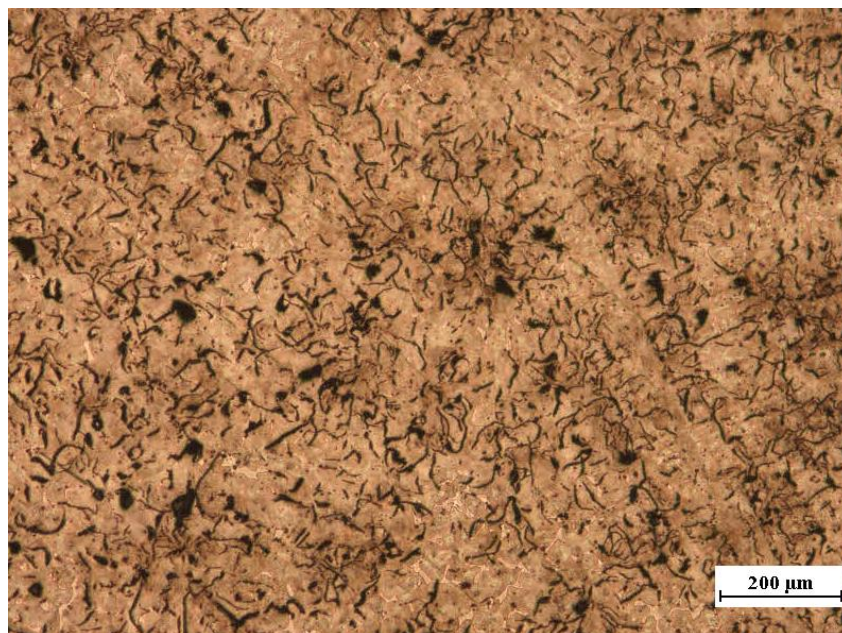


**Figura 71.** Fundición gris perlítica, grafito tipo B.



La Figura 71 presenta una matriz perlítica con un tipo de distribución de grafito tipo B (segregación interdendrítica y orientación al azar), con la diferencia de la Figura 72 que presenta un tipo de grafito tipo A. ambas con ataque con nital al 2 % y aumento de 5x.

**Figura 72.** Fundición gris perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita.



**Figura 77.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A.



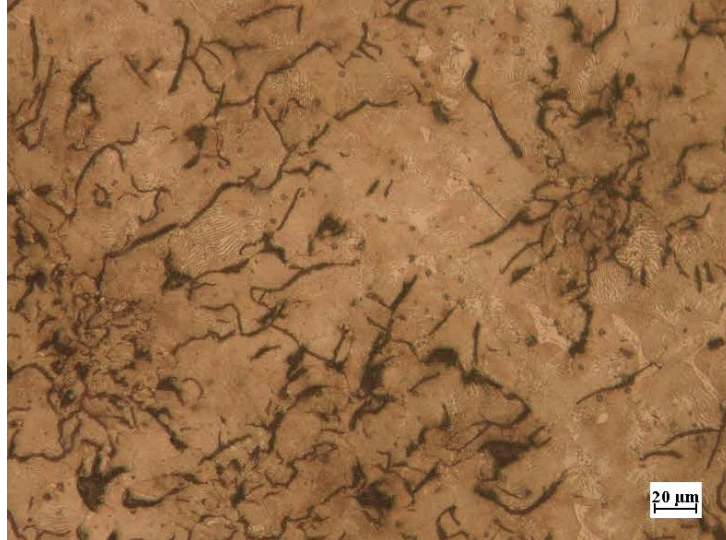
La figura 77 presenta una matriz perlítica gruesa con una distribución de grafito tipo A diferencia de la figura 79 que presenta esteadita gruesa.

**Figura 79.** Fundición gris matriz perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.





**Figura 74.** Fundición gris, matriz perlítica, grafito tipo B con presencia de esteadita. 20X.



La figura 74 presenta una matriz perlítica con una distribución de grafito fino tipo B a diferencia de la figura 63 que presenta una distribución de grafito tipo A de tamaño mayor.

**Figura 63.** Fundición gris perlítica, grafito tipo A con presencia de esteadita. Nital 2%. 20X.

