

# **ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“IMPLEMENTACIÓN DE METALOGRAFÍA CUANTITATIVA COMPUTARIZADA PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO Y VALORACIÓN DE RESULTADOS CON ENSAYOS METALOGRÁFICOS REQUERIDOS EN EL SECTOR METALMECÁNICO REGIONAL”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**FAUSTO OSWALDO ARELLANO EGÚEZ  
JUAN CARLOS CASTRO CASTILLO**

**DIRECTOR: ING VICTOR ANDRADE  
CODIRECTOR: ING LUÍS ECHEVERRÍA**

**Sangolquí, 2005 – 02**

# CERTIFICACIÓN

El presente proyecto ha sido elaborado en su totalidad por los señores: Fausto Oswaldo Arellano Egüez y Juan Carlos Castro Castillo, egresados de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Víctor Andrade  
DIRECTOR

Ing. Luis Echeverría  
CODIRECTOR

Sangolquí, 2005-02-01

# LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“IMPLEMENTACIÓN DE METALOGRAFÍA CUANTITATIVA  
COMPUTARIZADA PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA  
ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO Y VALORACIÓN DE  
RESULTADOS CON ENSAYOS METALOGRÁFICOS REQUERIDOS EN EL  
SECTOR METALMECÁNICO REGIONAL”

**ELABORADO POR:**

---

Fausto Oswaldo Arellano Egüez

---

Juan Carlos Castro Castillo

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

---

Mayor, Ing. Hugo Ruiz

DECANO

Sangolquí,

## DEDICATORIA

A Dios, infaltable espíritu de luz que guía todo paso por mi camino y no me desampara en ningún momento.

A mi Madre, que me ha sabido brindado su cariño, ternura y apoyo en todos los años de mi formación profesional y que cada instante vela por mi.

A mi Padre, que con su ejemplo y sacrificio me ayuda a ser cada día una mejor persona y con lo cual me permitirá desarrollarme exitosamente en el ámbito que me desenvuelva.

A mis hermanas, que las llevo muy dentro de mi corazón y que son una parte imprescindible de impulso a las actividades que llevo en cada instante de mi vida.

**Juan Carlos**

Tras una ardua labor que me implicó obtener este título, deseo dedicar con todo mi corazón a mis padres y hermanos que con su ardua labor, confianza y apoyo he logrado concluir esta fase de mi vida.

No puedo dejar de nombrar a mi esposa que con su apoyo me ha dado fuerzas para alcanzar mi meta, les doy las gracias a todos mis seres queridos.

**Fausto**

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestros más sinceros agradecimientos para los Ingenieros Víctor Andrade y Luis Echeverría, Director y Codirector de Tesis, por sus generosos consejos y orientación en la realización del proyecto, así como también a los ingenieros: Mario Pástor y Gonzalo Mora por su colaboración en la realización del mismo.

A todos aquellos que de una u otra manera acompañaron y apoyaron a la ejecución de este proyecto para que llegue a un exitoso término.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b>	13
----------------	----

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

1.1 Introducción	15
1.1.1 Descripción de la Implementación	16
1.2 Antecedentes	17
1.3 Identificación del Problema	18
1.4 Definición del Problema	18
1.5 Justificación e Importancia	19
1.6 Objetivos	20
1.6.1 Generales	20
1.6.2 Específicos	20
1.7 Alcance	21

## **CAPÍTULO 2**

### **ANTECEDENTES TÉCNICOS**

2.1 Estudio preliminar del análisis metalográfico	23
2.1.1 Inclusiones no Metálicas	25
2.1.2 Estructuras y Cristalización de los Metales	28
2.1.2.1 Redes Cristalinas de los Metales	28
2.1.2.2 Estructuras real de los cristales metálicos	30
2.1.2.3 Imperfecciones Puntuales	30
2.1.2.4 Imperfecciones lineales	31

2.1.3	Métodos de Investigación de la estructura de los metales	32
2.2	Análisis del sistema de funcionamiento del equipo a implementar	34
2.2.1	Tarjeta capturadora de video	34
2.2.1.1	Resolución y número de colores	35
2.2.2	Sistema de videomicroscopía	36
2.2.2.1	Videomicroscopía	37
2.2.2.2	Videomicroscopía Digital	38
2.3	Determinar las variables de proceso	39
2.3.1	Terminología	40
2.3.1.1	Transformaciones de vecindad	40
2.3.1.2	Ciclos	40
2.3.1.3	Bordes	40
2.3.1.4	Convenciones Topográficas	40
2.4	Conceptualizar el Proceso de Ensayo	41
2.4.1	Preparación de las probetas	41
2.4.2	Ataque químico	42
2.4.3	Captura de imagen	43
2.5	Determinación de los elementos a ser implementados	43
2.5.1	Matriz de decisión	43
2.5.2	Hardware	44
2.5.3	Software	44
2.5.4	Instalación adecuada del sistema	45

## **CAPÍTULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE**

3.1	Descripción general del equipo	46
3.2	Características principales	47
3.2.1	Tarjeta de video	47
3.2.2	Cámara de video	47
3.2.3	Clemex	48

3.3 Localización geográfica	49
3.4 Montaje de la cámara digital al microscopio	49
3.4.1 Coloque los elementos juntos	49
3.4.1.1 La computadora	49
3.5 Montaje de la tarjeta capturadora de video	50
3.6 Instalación de Clemex, software que permite capturar imágenes	53
3.7 Capacitación del uso y funcionamiento del equipo	55

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO**

4.1 Pruebas	57
4.1.1 Ensayos metalográficos en tres metales diferentes	57
4.1.1.1 Medición de tamaño de grano	58
4.1.1.2 Porcentaje de ferrita y perlita	59
4.1.1.3 Porcentaje de Inclusiones	60
4.2 Puesta a Punto	61
4.2.1 Inicialización y calibración de los componentes	61
4.3 Análisis de resultados	66

## **CAPÍTULO V**

### **VALORACIÓN DE RESULTADOS**

5.1 Ensayo metalográfico en Franz Viegner	68
5.1.1 Prueba solicitada	68
5.1.2 Análisis de resultados	74
5.1.3 Valoración de resultados teóricos y prácticos	78
5.1.4 Conclusiones	78

5.2	Ensayo metalográfico en Ideal Alambrec	79
5.2.1	Prueba solicitada	79
5.2.2	Análisis de resultados	86
5.2.3	Valoración de resultados teóricos y prácticos	91
5.2.4	Conclusiones	93
5.3	Ensayo metalográfico en Figval	93
5.3.1	Prueba solicitada	93
5.3.2	Análisis de resultados	96
5.3.3	Valoración de resultados teóricos y prácticos	100
5.3.4	Conclusiones	100
5.4	Ensayo metalográfico en fundiciones y maquinarias Funimaq	101
5.4.1	Prueba solicitada	101
5.4.2	Análisis de resultados	103
5.4.3	Valoración de resultados teóricos y prácticos	105
5.4.4	Conclusiones	105
5.5	Ensayo metalográfico en Fundiciones Juan Carlos Recalde	106
5.5.1	Prueba solicitada	106
5.5.2	Análisis de resultados	118
5.5.3	Valoración de resultados teóricos y prácticos	140
5.5.4	Conclusiones	141
5.6	Ensayo metalográfico en Acindec	142
5.6.1	Prueba solicitada	142
5.6.2	Análisis de resultados	145
5.6.3	Valoración de resultados teóricos y prácticos	153
5.6.4	Conclusiones	154

## **CAPÍTULO VI**

### **EVALUACIÓN ECONÓMICA – FINANCIERA**

6.1	Evaluación económica	155
6.1.1	Beneficiarios	155

6.2 Evaluación Financiera	156
6.2.1 Costos	156
6.2.1.1 Ingeniería y Administración	156
6.2.1.2 Costos directos	157
6.2.2 Índices financieros	158
6.2.2.1 Valor actual neto (Van)	159
6.2.2.2 Tasa interna de rendimiento (Tir)	160
6.3 Análisis de factibilidad	161

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

7.1 Conclusiones	162
7.2 Recomendaciones	164

<b>BIBLIOGRAFIA</b>	166
---------------------	-----

# LISTADO DE TABLAS

## CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Temperatura de fusión y densidad de algunas inclusiones no metálicas	27
Tabla 2.2 Resolución y máximo número de colores	36
Tabla 2.3 Matriz de decisión	43

## CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Características principales	48
---------------------------------------	----

## CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 Materiales Suministrados	58
------------------------------------	----

## CAPÍTULO V

Tabla 5.1 Muestras presentadas por Franz Viegner	68
Tabla 5.2 Comparación ente resultados de espesores	78
Tabla 5.3 Muestras Presentadas Por Ideal Alambrec	79
Tabla 5.4 Comparación de datos	92
Tabla 5.5 Muestras presentadas por Figval	93
Tabla 5.6 Comparación de resultados	100
Tabla 5.7 Muestras solicitadas por Funymaq	101
Tabla 5.8 Comparación de Resultados	105

Tabla 5.9 Muestras presentadas por Fundiciones Juan Carlos Recalde	106
Tabla 5.9 Muestras presentadas por Fundiciones Juan Carlos Recalde (Continuación)	107
Tabla 5.10 Porcentajes de Silicio	121
Tabla 5.11 Comparaciones de resultados	140
Tabla 5.11 Comparaciones de resultados (continuación)	141
Tabla 5.12 Muestras presentadas por Acindec	142
Tabla 5.13 Comparación de datos	153

## **CAPÍTULO VI**

Tabla 6.1 Misceláneos	156
Tabla 6.1 Misceláneos (continuación)	157
Tabla 6.2 Honorarios profesionales	157
Tabla 6.3 Remuneraciones a no profesionales	157
Tabla 6.4 Adquisición de Materiales y Equipos	157
Tabla 6.5 Fuente de Financiamiento	158
Tabla 6.6 Flujo de Caja	159
Tabla 6.7 Tasas Activas de Financiamiento de Inversión	160

## **LISTADO DE ECUACIONES**

### **CAPÍTULO V**

Ecuación 5.1 Multiplicador de Jeffries	91
Ecuación 5.2 Área	92

### **CAPÍTULO VI**

Ecuación 6.1 TIR	160
------------------	-----

# LISTADO DE FIGURAS

## CAPÍTULO II

Figura 2.1 Redes cristalinas	29
Figura 2.2 Defectos en el arreglo atómico	31
Figura 2.3 Fotografía ilustrativa de tarjeta capturadora de video	34
Figura 2.4 Fotografía ilustrativa de videomicroscopia digital	36
Figura 2.5 Imagen de escala de grises	41
Figura 2.6 Disposición recomendada	45

## CAPÍTULO III

Figura 3.1 Equipo a implementar	46
Figura 3.2 Cámara en microscopio	46
Figura 3.3 Tarjeta de captura de video	46
Figura 3.4 Ensamble de tarjeta	46
Figura 3.5 Tarjeta de video 640 x 480	47
Figura 3.6 Cámara de video 15 cb25 color	47
Figura 3.7 Software de análisis metalográfico CLEMEX VISION PE	48
Figura 3.8 Montaje de la cámara al lente del microscopio	50
Figura 3.9 Puertos de la tarjeta madre	51
Figura 3.10 Posición correcta de la tarjeta capturadora de video	52
Figura 3.11 Conexión del cable del monitor a la tarjeta capturadora de video	52
Figura 3.12 Pantalla de inicio de presentación del programa a instalar	53
Figura 3.13 Pantalla de identificación del producto	54
Figura 3.14 Pantalla de instalación de componentes del software	54
Figura 3.15 Pantalla de finalización de instalación del programa	55

## CAPÍTULO IV

Figura 4.1 Imagen digitalizada tamaño de grano	58
Figura 4.2 Imagen binarizada tamaño de grano	59
Figura 4.3 Imagen digitalizada porcentaje de ferrita y perlita	59
Figura 4.4 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita	60
Figura 4.5 Imagen digitalizada inclusiones	60
Figura 4.6 Imagen binarizada inclusiones	61
Figura 4.7 El calibrador se ha estirado a 170 micras	62
Figura 4.8 Ventana de diálogo entra calibración	62
Figura 4.9 Ventana de diálogo de amplificación	63
Figura 4.10 Colocación apropiada del calibrador en la regla graduada	63
Figura 4.11 Gráfico de barras medición de grano	66
Figura 4.12 Porcentaje de ferrita y perlita	66
Figura 4.13 Porcentaje de inclusiones	67

## CAPÍTULO V

Figura 5.1 Imagen digitalizada baquelita, 400X	69
Figura 5.2 Imagen binarizada baquelita	70
Figura 5.3 Imagen digitalizada plástico, 400X	70
Figura 5.4 Imagen binarizada plástico	70
Figura 5.5 Imagen digitalizada latón, 400X	71
Figura 5.6 Imagen binarizada latón	71
Figura 5.7 Imagen digitalizada latón, 1000X	71
Figura 5.8 Imagen binarizada latón	72
Figura 5.9 Imagen digitalizada latón, 400X	72
Figura 5.10 Imagen binarizada latón	72
Figura 5.11 Imagen digitalizada latón, 400X	73
Figura 5.12 Imagen binarizada latón	73
Figura 5.13 Gráfica de barras espesor de cromo	74

Figura 5.14 Gráfica de barras espesor de níquel	74
Figura 5.15 Gráfica de barras espesor de cobre	75
Figura 5.16 Gráfica de barras espesor de níquel	75
Figura 5.17 Gráfica de barras espesor de cromo y níquel	76
Figura 5.18 Gráfica de barras espesor de cromo	76
Figura 5.19 Porcentaje de constituyentes	77
Figura 5.20 Gráfica de barras tamaño de grano	77
Figura 5.21 Imagen digitalizada, 200X	80
Figura 5.22 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita	80
Figura 5.23 Imagen binarizada tamaño de grano, 400X	81
Figura 5.24 Imagen digitalizada, 200X	81
Figura 5.25 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita	81
Figura 5.26 Imagen digitalizada tamaño de grano	82
Figura 5.27 Imagen digitalizada, 400X	82
Figura 5.28 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita	82
Figura 5.29 Imagen binarizada tamaño de grano latón	83
Figura 5.30 Imagen binarizada, 400X	83
Figura 5.31 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita,	83
Figura 5.32 Imagen binarizada tamaño de grano	84
Figura 5.33 Imagen digitalizada, 400X	84
Figura 5.34 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita	84
Figura 5.35 Imagen binarizada tamaño de grano, 400X	85
Figura 5.36 Porcentaje de constituyentes	86
Figura 5.37 Gráfico de barras tamaño de grano	86
Figura 5.38 Porcentaje de constituyentes	87
Figura 5.39 Gráfico de barras tamaño de grano	87
Figura 5.40 Porcentaje de constituyentes	88
Figura 5.41 Gráfico de barras tamaño de grano	88
Figura 5.42 Porcentaje de constituyentes	89
Figura 5.43 Gráfico de barras tamaño de grano	89
Figura 5.44 Porcentaje de constituyentes	90
Figura 5.45 Gráfico de barras tamaño de grano	90
Figura 5.46 Conteo de granos	91
Figura 5.47 Imagen digitalizada, 100X	94

Figura 5.48 Imagen digitalizada, 100X	94
Figura 5.49 Imagen digitalizada, 100X	95
Figura 5.50 Imagen digitalizada, 400X	95
Figura 5.51 Imagen binarizada, 400X	96
Figura 5.52 Porcentaje de constituyentes	96
Figura 5.53 Imagen binarizada, 400X	98
Figura 5.54 Porcentaje de constituyentes	98
Figura 5.55 Imagen digitalizada, 100X	102
Figura 5.56 Imagen digitalizada, 200X	102
Figura 5.57 Imagen digitalizada, 400X	103
Figura 5.58 Imagen binarizada,400x	103
Figura 5.59 Porcentaje de constituyentes	104
Figura 5.60 Probeta cuneiforme	108
Figura 5.61 Obtenida enla punta de la probeta, 100X	109
Figura 5.62 Obtenida enla punta de la probeta, 400x	109
Figura 5.63 Obtenida enla punta de la probeta, 200x	109
Figura 5.64 Obtenida a 7 mm de la punta, 200X	110
Figura 5.65 Obtenida a 14 mm de la punta, 200X	110
Figura 5.66 Obtenida a 20 mm de la punta, 200X	111
Figura 5.67 Obtenida a 23 mm de la punta, 100X	111
Figura 5.68 Fundición nodular, 100X	112
Figura 5.69 Fundición nodular, 400X	112
Figura 5.70 Fundición nodular, 100X	113
Figura 5.71 Fundición nodular, 400X	113
Figura 5.72 Fundición nodular, 100X	114
Figura 5.73 Fundición nodular, 400X	114
Figura 5.74 Imagen digitalizada Aluminio, 200X	115
Figura 5.75 Imagen digitalizada Aluminio, 200X	115
Figura 5.76 Imagen digitalizada Latón, 200X	116
Figura 5.77 Imagen digitalizada Latón , 400X	116
Figura 5.78 Imagen digitalizada Latón, 200X	117
Figura 5.79 Imagen binarizada, 100X	118
Figura 5.80 Porcentaje de constituyentes	118
Figura 5.81 Porcentaje de constituyentes	119

Figura 5.82 Imagen binarizada, 100X	120
Figura 5.83 Porcentaje de constituyentes	120
Figura 5.84 Imagen binarizada, 100X	122
Figura 5.85 Porcentaje de constituyentes	122
Figura 5.86 Imagen binarizada, 400x	123
Figura 5.87 Porcentaje de constituyentes	123
Figura 5.88 Imagen binarizada, 100X	125
Figura 5.89 Porcentaje de constituyentes	125
Figura 5.90 Imagen binarizada, 400X	126
Figura 5.91 Porcentaje de constituyentes	127
Figura 5.92 Imagen binarizada, 100X	127
Figura 5.93 Porcentaje de nodularidad	128
Figura 5.94 Imagen binarizada, 400X	129
Figura 5.95 Porcentaje de constituyentes	129
Figura 5.96 Imagen binarizada, 100X	130
Figura 5.97 Porcentaje de nodularidad	130
Figura 5.98 Imagen binarizada, 400X	131
Figura 5.99 Porcentaje de constituyentes	131
Figura 5.100 Imagen binarizada, 200X	132
Figura 5.101 Porcentaje de nodularidad	132
Figura 5.102 Imagen binarizada, 100X	134
Figura 5.103 Porcentaje de Porosidad	134
Figura 5.104 Gráfico de barras porosidad esférica	135
Figura 5.105 Gráfico de barras porosidad contracción	135
Figura 5.106 Imagen binarizada, 200X	136
Figura 5.107 Porcentaje de constituyentes	136
Figura 5.108 Gráfico de barras área de Zinc	137
Figura 5.109 Gráfico de barras área de Hierro	138
Figura 5.110 Gráfico de barras área de Manganeso	138
Figura 5.111 Gráfico de barras área de Aluminio	139
Figura 5.112 Imagen digitalizada soldadura, 200X	143
Figura 5.113 Imagen digitalizada soldadura, 200X	143
Figura 5.114 Imagen digitalizada soldadura, 200X	144
Figura 5.115 Imagen digitalizada soldadura, 200X	144

Figura 5.116 Imagen binarizada, 200X	145
Figura 5.117 Gráfica de barras tamaño de grano	145
Figura 5.118 Imagen binarizada, 200X	146
Figura 5.119 Gráfica de tamaño de grano	146
Figura 5.120 Imagen binarizada, 200X	147
Figura 5.121 Gráfica de barras tamaño de grano	147
Figura 5.122 Imagen digitalizada ZAC	148
Figura 5.123 Gráfica de barras área de carburos	148
Figura 5.124 Gráfica de barras longitud de carburos	149
Figura 5.125 Imagen binarizada, 200X	149
Figura 5.126 Gráfica de barras tamaño de grano	150
Figura 5.127 Imagen binarizada, 100X	150
Figura 5.128 Gráfica de barras tamaño de grano	151
Figura 5.129 Imagen binarizada, 100X	151
Figura 5.130 Gráfica de barras tamaño de grano	152
Figura 5.131 Imagen binarizada, 200X	152
Figura 5.132 Gráfica de barras tamaño de grano	153

## LISTADO DE ANEXOS

<b>Anexo A</b>	Manual de seguridad y mantenimiento del equipo
<b>Anexo B</b>	Manual de Operación
<b>Anexo C</b>	Guía de prácticas.
<b>Anexo D</b>	Metals Hanbook. "Atlas of Microstructures of Industrial alloys
<b>Anexo E</b>	Normas ASTM
<b>Anexo F</b>	Certificados

# SIMBOLOGÍA

<b>Al</b>	Aluminio
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Alúmina
<b>ASTM</b>	American Standard for Testing Material
<b>AFS</b>	American Foundry mem's society I.N.C.
<b>Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Óxido Ceroso
<b>CeS</b>	Sulfuro de Serio
<b>Clemex Vision PE</b>	Software de análisis metalográfico profesional
<b>cm</b>	centímetro
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Óxido Crómico
<b>Cu</b>	Cobre
<b>ESPE</b>	Escuela Politécnica del Ejército
<b>ESPOCH</b>	Escuela Politécnica del Chimborazo
<b>FeS</b>	Sulfuro de Ferroso
<b>FeO</b>	Óxido Ferroso
<b>FIME</b>	Facultad de Ingeniería Mecánica
<b>gr</b>	gramos
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua (destilada)
<b>HCL</b>	Ácido Clorhídrico
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Ácido Nítrico
<b>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>	Ácido Fosfórico
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Ácido Sulfúrico
<b>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>	Dicromato de Potasio
<b>ml</b>	mililitros
<b>mm</b>	milímetros
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>MnO</b>	Óxido de manganeso
<b>MnS</b>	Sulfuro de manganeso
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Sílice
<b>TiO<sub>2</sub></b>	Óxido de Titanio

<b>TiN</b>	Nitruro de Titanio
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	Óxido de Zirconio
<b>ZrN</b>	Nitruro de Zirconio
<b>μm</b>	micra

## GLOSARIO

**Ferrita.-** Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, pero su solubilidad es tan pequeña a temperatura ambiente, que se considera como hierro alfa puro. La máxima solubilidad es de 0,02% a 723<sup>a</sup>.

**Cementita.-** Compuesto duro y brillante de hierro y carbón de fórmula Fe<sub>3</sub>C.

**Perlita.-** Constituyente formado por 86,5% de ferrita y el 13,5% de cementita, posee una dureza de 200 Brinell y resistencia a la rotura de 80 kg/mm<sup>2</sup>.

**Hojuela de Grafito.** - Partícula de grafito de forma irregular con apariencia de hojuela similar a las encontradas en la fundición gris.

**Grafito nodular.-** Grafito que adquiere la forma de esferas o nódulos, encontrado típicamente en los hierros nodular y dúctil.

**Hierro fundido gris.-** Hierro que tiene una fractura gris debido a la gran cantidad de hojuelas de grafito.

**Macroestructura.-** Se denomina a la estructura del metal vista sin aumento o un aumento pequeño (de 10 a 30 veces) por medio de una lupa. La macroestructura puede investigarse directamente en la superficie del metal en una fractura o en la probeta macrográfica.

**La microestructura.-** que es la estructura del metal o de la aleación, observada por la ayuda de un microscopio a elevados aumentos.

**Análisis microestructura.-** Este tipo de análisis se utiliza para determinar la forma y tamaño de los granos de los cuales está constituido el metal o la aleación; para detectar los cambios de la estructura interna de la aleación operados por acción de los diferentes regímenes de tratamiento

**Fundición Nodular.-** Fundición de hierro que ha sido tratada en estado líquido a fin de causar que el carbono de grafito se transforme como nódulo o esferoidal.

**Fundición Maleable.-** Fundición de hierro que es semejante al solidificarse a la fundición blanca, la cual al ser tratada bajo calor se convierte en una matriz metálica con nódulos de carbono templado.

## RESUMEN

De todos los elementos conocidos hasta hoy día más de la mitad son metales, siendo por eso que la estructura de un material desde su punto macro y microestructural ha sido sin duda el tema de mucho estudio. La metalografía no se reduce meramente al examen visual o microscópico de ellos, sino que, ahora, comprende todos los métodos empleados en el estudio de la constitución y estructura interna de los metales y aleaciones, así como la influencia que ambas ejercen sobre las propiedades físicas y mecánicas. En un metal o aleación todos los componentes de su microestructura se forman durante la solidificación del estado líquido o durante las transformaciones que después tienen lugar en el metal sólido. Debido a esto muchas empresas que se dedican a la fabricación y diseño de cuerpos metálicos necesitan de la microestructura para poder cumplir con sus patrones o estándares de calidad.

Es por esto que en la elaboración del presente proyecto de tesis se ha visto en la obligación de restituir el equipo antiguo de microanálisis del laboratorio de metalurgia de la ESPE por un equipo moderno que se encuentre al desarrollo con la tecnología actual.

Una vez que se ha efectuado la implementación del equipo se conseguirá que los alumnos puedan realizar sus prácticas de una manera más sencilla y rápida desechando todo los procedimientos anteriores a la ejecución del plan del proyecto, igualmente se podrá abrir las puertas a una mejor prestación de servicios por parte de ESPE a las empresas que requieran de su servicio como organización de control.

Todo esto se podrá lograr por medio de la ejecución del proyecto al instalar una cámara de captura digital de video mediante una computadora con tarjeta capturadora de video a la salida de uno de sus lentes oculares en el microscopio, luego de esto se procesaran las imágenes por el programa de análisis metalográfico CLEMEX VISION PE que realizará rutinas como: Medición de tamaño de grano, cantidades relativas de fases, tamaño de grafito

laminar, número de nódulos por área, porcentajes de porosidad, análisis de partículas e inclusiones, espesores en revestimientos, etc. Parámetros que una vez proporcionados nos accederán a conocer detalles que caracterizan a las diferentes tipos de muestras metalográficas tanto en metales como aleaciones.

Ahora se procederá como segundo punto a la valorización de resultados, para lo cual se necesitará la colaboración de empresas metalmecánicas que se encuentren en la región realizando trabajo de fabricación y diseño de cuerpos metálicos, ya que estas requieren de ensayos metalográficos para demostrar que sus productos se encuentran bajo normas internacionales de diseño y construcción.

Toda preparación de probetas y ensayos se ha realizado estrictamente bajo las normas ASTM. Del mismo modo los resultados obtenidos en las diferentes estudios se han comprobado que cumplan con las exigencias de las normas.

En conclusión de todo lo expuesto se afirma visiblemente que la implementación de metalurgia computarizada al laboratorio de metalurgia de la ESPE ha sido de gran utilidad para todos los beneficiarios que utilicen de él como son: Ingenieros, técnicos, alumnos y empresas que necesiten de su apoyo en diferentes actividades propuestas por dichos entes.

Podrán trabajar de manera segura y confiable en sus diseños por la obtención de resultados exactos que permitirán realizar trabajos excelente calidad.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La Globalización, con lleva muchas exigencias en cuanto a las innovaciones técnicas, sistemáticas y organizacionales, que deben implementar las empresas e industrias, con la finalidad de mantenerse en el mercado, dotando a los consumidores de productos y servicios de calidad.

En nuestro país, la competitividad no es un mito, ya que las industrias consideran como una necesidad imperante, las innovaciones técnicas, de ahí que las investigaciones al respecto, constituyen una prioridad para las industrias competitivas, con la finalidad de establecer procedimientos y normas propias, que sean aplicables para el campo de acción de cada una de ellas.

La tercerización de servicios empresariales u outsourcing, también constituye un fenómeno interesante de la globalización, ya que las industrias simplifican su estructura y contratan servicios especializados que apoyen a la realización y cumplimiento de sus objetivos, este es el caso que nos atañe, ya que la implementación de un sistema digital, que mide, cuantifica y caracteriza las condiciones de un material metálico determinado, es un servicio que las industrias de la metalurgia local necesitan, para obtener las certificaciones de calidad y evidenciar el comportamiento de los metales, sometidos a diferentes tratamientos térmicos, adición de nuevos componentes y ensayos mecánicos que varían la estructura natural de los mismos, otro aspecto que incide para la decisión de las industrias por este servicio, es el elevado costo que constituye

la adquisición de los equipos para dicha medición ya que son extremadamente costosos.

Para la consecución de una producción sustentable y sostenida en la calidad de los metales, es importante obtener un análisis metalográfico adecuado y exacto, el cual permita establecer el cumplimiento de las normas de fabricación y calidad preestablecidas por los organismos pertinentes, por lo que su resultado lo garantiza el proveedor de este servicio que es la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército.

Este proyecto propone dos fases de ejecución: la primera fase será la implementación de un equipo que permita realizar Metalografía Cuantitativa por Medio de Análisis de Imagen, en el Laboratorio de Metalurgia (ESPE) y el segundo realizar ensayos metalográficos de diferentes empresas de la región que permitan evaluar y comparar en conjunto los resultados, y promocionar el servicio que dispondrá la ESPE.

### **1.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN**

El equipo a ser implantado consta de una cámara digital, la misma que será acoplada al microscopio metalográfico para transmitir la señal al computador; una tarjeta capturadora de video cuyas especificaciones mínimas se detallan más adelante y el CLEMEX VISION PE software que analiza y procesa imágenes.

Todos estos componentes podrán ser acoplados con facilidad en el laboratorio de metalurgia de la ESPE.

## 1.2 ANTECEDENTES

Actualmente el laboratorio de metalurgia (ESPE), viene desarrollando sus prácticas de caracterización metalográfica con normalidad, utilizando el equipo que dispone por el momento el mencionado laboratorio. Dichas prácticas son efectuadas por los estudiantes de la FIME, para realizar un análisis de las micro y macro estructuras de los metales, para lo cual los estudiantes una vez preparada su probeta de análisis la llevan al microscopio metalográfico para realizar el análisis, posteriormente realizan la toma de fotografías de las estructuras metalográficas con la ayuda de una cámara y la amplificación mas idónea que proporciona el microscopio, el siguiente paso será obtener el revelado de las fotos tomadas de las estructuras analizadas que son requisito para el análisis y la presentación del informe correspondiente. Este revelado lleva de uno a dos días para obtener la imagen metalográfica de la estructura analizada y representa un costo aproximado de \$ 15.

Por lo que el laboratorio de metalurgia (ESPE) ha visto la necesidad de contar con este equipo computarizado para el análisis metalográfico, a fin de ofrecer a sus estudiantes un sistema confiable, rápido y de alta calidad en el aspecto enseñanza - aprendizaje que beneficiara en la asimilación de conocimientos de los futuros profesionales que pasan por este laboratorio, así como también abrirá un nuevo campo de acción de la ESPE con el sector metalmeccánico regional.

Con la implementación de este equipo computarizado, se lograra realizar las prácticas de análisis metalográfico ya no en dos días como se lo viene haciendo en la actualidad, sino se la hará en un tiempo promedio de 30 minutos o menos por cada práctica, lo que implica una considerable reducción de costos y de tiempo tanto para los estudiantes como para el laboratorio de metalurgia. Y de esta manera a corto plazo ya no tener que recurrir a la

Escuela Politécnica del Chimborazo (ESPOCH) que es la única que dispone de este equipo para este tipo de análisis.

Por lo explicado anteriormente existen los suficientes antecedentes para la realización de este proyecto.

### **1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El continuo cambio de tecnología con el transcurrir del tiempo hace que cada instante se mejoren los métodos de enseñanza así como también la forma de perfeccionar la prestación de servicios hacia empresas interesadas en asegurar que sus productos se encuentran siendo elaborados bajo normas reguladoras de calidad y construcción, por lo tanto el problema a resolver consistirá en la implementación de un software de última tecnología que ayude al estudiante a realizar sus prácticas de una manera más rápida y confiable igualmente abrir a la ESPE las puertas en el desarrollo de una dominante actividad de asistencia profesional a empresas que requieran de sus servicios con equipos de última generación.

### **1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La meta primordial de ese proyecto es que la ESPE con su laboratorio de metalurgia abra un nuevo campo de acción en servicio interno con sus alumnos como en el sector industrial de la provincia. Con esto la ESPE conseguirá una relación directa entre la teoría científica que imparten en sus aulas con la aplicación práctica industrial.

Para lo cual este proyecto propone la valoración de resultados, a través de ensayos metalográficos en industrias líderes en el mercado ecuatoriano.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El Laboratorio de metalurgia (ESPE) se ha propuesto mejorar su equipo metalográfico con el que dispone, ya que en la actualidad existe una nueva tecnología que permite realizar este análisis con equipos mas sofisticados que arrojan datos mas precisos y de fácil entendimiento para el usuario lo que le permite ahorrar tiempo, para lo cual ha diseñado una estrategia encaminada al mejoramiento de su sistemas enseñanza – aprendizaje de los estudiantes FIME, a través de la implementación de un nuevo equipo computarizado para análisis metalográfico en aleaciones metálicas.

Entonces la ejecución de este proyecto, encuentra su justificación en la necesidad del laboratorio de metalurgia (ESPE) de disponer con un equipo, versátil, eficiente y de fácil ajuste a los requerimientos tecnológicos que demanda el sector metal mecánico regional.

De esto se desprende la necesidad del mencionado laboratorio de optimizar su equipo metalográfico, para que a corto plazo se pueda ofrecer a los estudiantes FIME que hacen uso de este equipo, un sistema de análisis de mejores características de los que vienen realizando hasta hoy , lo que les permitiría una mejor comprensión de la teoría científica adquirida, además de un evidente ahorro de tiempo, ya que con el equipo actual la realización de un ensayo de análisis metalográfico dura aproximadamente dos días, en cambio con el equipo a implementar el tiempo promedio de duración de un ensayo es de 30 minutos. Además procederemos a realizar ensayos metalográficos de prueba en tres metales diferentes para comprobar el funcionamiento del equipo implementado.

Otra de las razones por la que se justifica la ejecución de este proyecto es que una vez que la ESPE cuente con este moderno y sofisticado equipo, será una de las primeras dentro de la provincia que cuente con este equipo, lo que le permitirá a la ESPE abrir un nuevo campo de acción en servicio a la comunidad , a través de la prestación de servicios a la industria regional , para la realización de ensayos metalográficos, que estas requieren para la valoración y estandarización de sus productos.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 GENERAL**

Disponer de las especificaciones y parámetros para realizar la “Implementar Metalografía Cuantitativa Computarizada al laboratorio de Metalurgia de la Escuela Politécnica del Ejército y Valorar los resultados con ensayos metalográficos requeridos en el sector metalmeccánico regional”.

### **1.6.2 ESPECÍFICOS**

- Enunciar los aspectos generales de este equipo.
- Implementar el equipo computarizado para el análisis metalográfico.
- Dominar el uso de este sistema.
- Aprender y dominar el manejo de CLEMEX, software que permite realizar el análisis metalográfico de acuerdo a los requerimientos del usuario.
- Realizar pruebas de validación del equipo implementado con tres tipos diferente de metales.

- Realizar pruebas de valoración de resultados requeridos por el sector metalmecánico.
- Comparar los resultados experimentales con los prácticos.
- Orientar esta técnica de análisis metalográfico a la prestación de servicios a la industria regional.
- Elaborar una nueva guía de práctica de laboratorio para realizar este análisis.
- Elaborar un manual para el usuario de este equipo.
- Realizar un estudio Económico - Financiero que determine los montos de recursos necesarios utilizados en el desarrollo de este proyecto.
- Obtener las conclusiones y recomendaciones que surjan durante el avance paulatino de este proyecto.

## **1.7 ALCANCE**

Con el fin de implementar el uso de metalografía cuantitativa computarizada en el laboratorio de Metalurgia de la Escuela Politécnica del Ejército y valorar los datos obtenidos se procederá a realizar ensayos metalográficos en diferentes empresas dentro de la región, como son: Franz Viegner, Ideal Alambrec, Fundiciones Recalde, Figval, Funymaq, Acindec, entre otras.

Dichas empresas ofrecen y comercializan sus productos dentro y fuera de la región; razón por la cual son exigidas para la venta de sus productos el uso de normas y estándares internacionales de construcción y fabricación de los mismos.

Por este y otros motivos las empresas necesitan de un ente que este calificado para desarrollar pruebas que confirmen que sus procedimientos estén bajo normas y parámetros mínimos de seguridad, y es así que la Escuela

Politécnica del Ejército esta en calidad de realizar este tipo de pruebas con sus laboratorios y en especial con su laboratorio de Metalurgia.

Las muestras presentadas por las empresas serán clasificadas y posteriormente analizadas según el análisis propuesto por estas.

Entre los ensayos que se practicarán tenemos: Tamaño de Grano, Cantidad relativa de fases, Número de Nódulos por área, Medición de Espesores de Recubrimientos, Tamaño de Grafito Laminar, Análisis de partículas e inclusiones, Porcentajes de Porosidades, etc.

Adquiridos los resultados se procederá a comprobar la validez y confiabilidad de los datos comparándolos con los que posean las empresas o normas exigidas.

Se presentará un estudio económico que indique los costos y beneficios del proyecto.

# CAPÍTULO II

## ANTECEDENTES TÉCNICOS

### 2.1 ESTUDIO PRELIMINAR DEL ANÁLISIS METALOGRÁFICO

La metalografía es la ciencia que estudia la composición, estructura y propiedades de los metales y las aleaciones y las leyes de sus cambios bajo propiedades físicas externas: calóricas, químicas, mecánicas, electromagnéticas y radiactivas.

Los metales en estado sólido y parcialmente en estado líquido poseen alta conductividad calórica y eléctrica, poseen un coeficiente positivo de resistencia térmica. Con un aumento de temperatura la resistencia eléctrica de los metales puros crece; una gran cantidad de metales tienen superconductividad, en estos a una temperatura cercana al cero absoluto, la resistencia eléctrica cae a saltos hasta una magnitud muy pequeña. Además, todos los metales poseen emisión termoeléctrica, es decir, la propiedad de emitir electrones durante su calentamiento; buena capacidad reflectiva y susceptibilidad a la deformación plástica. Los metales no son transparentes y poseen brillo metálico muy característico.

Todos los metales y aleaciones metálicas son cuerpos cristalinos, poseen cuerpos policristalinos, compuestos de una gran cantidad de cristales finos orientados ( $10^{-1} - 10^{-4}$  cm).

Los metales puros<sup>1</sup> poseen baja resistencia y en una serie de casos no garantizan las propiedades físico-químicas y de ingeniería requeridas. Por lo que no son utilizados en la técnica a diferencia de las aleaciones que son mayormente utilizadas.

Las aleaciones se forman por fusión o sinterización<sup>1</sup> de dos o más metales con metaloides.

Para examinar la estructura, transformaciones y propiedades de los metales y aleaciones de los metales se han introducido, las nociones de “fase” y “estructura”.

Llámesese fase a la parte homogénea del sistema (del metal o aleación), que tienen una misma composición, iguales propiedades físicas y químicas y una superficie interfásica separada de las demás partes del sistema.

Por estructura se entiende la estructura del metal o de la aleación.

Se distinguen: 1) la macroestructura, que es la estructura del metal o de la aleación, observada a simple vista o con un aumento insignificante (de 30 a 40 veces, 2) la microestructura, que es la estructura del metal o de la aleación, observada por la ayuda de un microscopio a elevados aumentos. La microestructura da una idea sobre la distribución entre las fases, su forma y dimensiones.

Es muy significativo de nombrar que entre la microestructura y muchas de las propiedades de la aleación existe una dependencia cualitativa. Una de las tareas fundamentales de la metalografía consiste en la determinación de las relaciones entre la estructura y las propiedades de las aleaciones metálicas.

---

<sup>1</sup> La noción “metal puro” es muy convencional, ya que todo metal en mayor o menor cantidad contienen impurezas y debe ser considerado como aleación. En lo sucesivo se considerará como “metal puro” al metal que contiene de 0,01-0,001% de impurezas.

<sup>1</sup> Algunas aleaciones se forman sin fusión, es decir, sin el paso de estado líquido, cuando en estado sólido se sinterizan polvos metálicos o combinaciones químicas.

**Tamaño de grano.** Mientras mayor es el número de centros de cristalización (núcleos cristalinos) y menor la velocidad de su crecimiento, más pequeño es el cristal que nace de un núcleo cristalino (grano del metal).

A un grado no muy elevado de sobreenfriamiento (pequeña velocidad de enfriamiento), el número de núcleos cristalinos es pequeño, pero la velocidad de crecimiento es grande, por lo cual se obtendrá un grano de gran tamaño. Al aumentar el grado de sobreenfriamiento, el número de núcleos cristalinos crecerá en un grado mayor que la velocidad de su crecimiento y el tamaño del grano en el metal disminuirá.

El grano del metal influye demasiado en sus propiedades mecánicas, sobre todo en la ductibilidad y plasticidad son más alta si el grano del metal es fino. En el tamaño de grano influyen: la temperatura de calentamiento y de colada del metal líquido, su composición química y la presencia de impurezas extrañas.

### **2.1.1 INCLUSIONES NO METÁLICAS**

Llámense inclusiones no metálicas a los compuestos, presentes en el acero, de los metales (hierro, silicio, manganeso, aluminio, cerio y otros) con los metales (azufre, oxígeno, nitrógeno, fósforo, carbono). La cantidad de inclusiones no metálicas, su composición, dimensión y carácter de disposición en el artículo acabado ejercen una influencia esencial y, a veces, decisiva, sobre las propiedades del acero. Las inclusiones no metálicas empeoran no sólo propiedades mecánicas (resistencia, plasticidad) sino también otras propiedades del acero (permeabilidad magnética, conductividad eléctrica y otras), puesto que alteran la continuidad del metal y forman cavidades, en las cuales son concentradas las tensiones en el metal. Las inclusiones no metálicas se dividen generalmente en dos grupos siguientes:

- Inclusiones formadas en el proceso de reacciones de afino metalúrgico (inclusiones endógenas).
- Inclusiones que penetran mecánicamente en el acero (inclusiones exógenas).

Estas inclusiones no son más que las partículas de impurezas de la carga no eliminadas del metal en el proceso de fusión, las partículas de escoria quedadas en el metal, las partículas de revestimientos del canal o cucharas penetradas en el metal, etc.

Las inclusiones endógenas se forman ininterrumpidamente en el metal en el proceso de fusión, colada y cristalización del lingote o de la pieza de fundición. Gran parte de las inclusiones formadas sube a la superficie y pasa a la escoria, pero cierta parte de las mismas queda en el metal. En un acero fundido las inclusiones están presentes en forma de cristales y glóbulos. Sometido el metal al tratamiento por presión (laminado, forja, estampado), ellas cambian su forma y disposición y se ven con el microscopio en forma de hilos, líneas y cadenillas, orientadas de ordinario en la dirección de la deformación. Según su composición química las inclusiones se suelen dividir en sulfuros (FeS, MnS, etc.), óxidos (FeO, MnO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.) y nitruros (TiN, ZrN, etc.). Además, se desprenden a veces también en fosfuros y carburos.

Las inclusiones son muy frecuentemente compuestas bastante complejos del tipo de silicatos ( $n\text{FeO} \cdot m\text{MnO} \cdot p\text{SiO}_2$ ), aluminosilicatos ( $n\text{MnO} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot p\text{Al}_2\text{O}_3$ ), espinelas (FeO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), oxisulfuros, etc.

Las inclusiones no metálicas endógenas se forman como resultado de la interacción de los componentes disueltos en el metal o como resultado de disminución de su solubilidad al solidificarse el acero. Las inclusiones formadas son más ligeras que el metal (véase la tabla) y tienden a subir a la superficie. La velocidad de su emersión depende de las dimensiones de la inclusión, la viscosidad del metal, la mojabilidad de las inclusiones por el metal y la escoria y del movimiento (agitación) del metal y la escoria las dimensiones de las inclusiones varían ente los límites anchos (de 0,0001 a 1,0 mm). Cuanto

menores sean los tamaños de las inclusiones, tanto mayor será la superficie relativa de contacto (en  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ) inclusión-metal y tanto mayor será la influencia que las fuerzas de humectación ejercen sobre la velocidad de eliminación de las inclusiones.

En la tabla se ve que la temperatura de fusión de las inclusiones de composición compleja puede ser más baja que la del acero líquido.

Tabla 2.1 Temperatura de fusión y densidad de algunas inclusiones no metálicas.

Inclusiones	Temperatura de fusión, en °C	Densidad a 20ª C, en $\text{g}/\text{cm}^3$
Oxido Ferroso FeO	1369	5,8
Oxido de manganeso MnO	1785	5,5
Sílice (cuarzo, vidrio de cuarzo) SiO <sub>2</sub>	1710	de 2,2 a 2,6
Alúmina (coridón) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2050	4,0
Oxido crómico Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2280	5,0
Oxido de Titanio TiO <sub>2</sub>	1825	4,2
Oxido de Circonio ZrO	2700	5,75
Oxido de ceroso Ce <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	1690	6,9
Sulfuro Ferrosos FeS	1193	4,6
Sulfuro de manganeso MnS	1620	4,0
Sulfuro de cerio CeS	2200	5,9
Silicatos de Hierro*)	de 1180 a 1700	de 2,3 a 5,3
Silicatos de manganeso*)	de 1210 a 1700	de 4,0 a 5,6
*) En dependencia del contenido de SiO <sub>2</sub>		

Fuente: Metalografía y tratamientos térmicos de los metales, Yu.M.Lajtim

En muchos casos las inclusiones formadas son muy menudas y las fuerzas de humectación que actúan sobre la superficie inclusión-metal las hacen moverse junto con el metal en agitación; a veces la inclusión que ha

alcanzado la escoria, pero no es humectada por esta última no abandona el metal ni pasa a la escoria (se repele). Así, pues, el problema consiste en organizar la tecnología de fusión de un modo tal que las inclusiones formadas sean humectadas mal por el metal (y se separen rápidamente de este último), pero, al contrario, sean humectadas bien por la escoria (se absorban rápidamente por esta última).

## **2.1.2 ESTRUCTURA Y CRISTALIZACIÓN DE LOS METALES**

### **2.1.2.1 Redes cristalinas de los metales**

Los metales son cuerpos cristalinos. Sus átomos se disponen en un orden geoméricamente regular, formando cristales, a diferencia de los cuerpos amorfos cuyos átomos se encuentran en estado desordenado.

Disponiéndose en los metales en un orden estricto, los átomos en el plano forman una malla atómica, y en el espacio, una red atómica cristalina figura 1.1 a. En los esquemas presentados las líneas son convencionales; en realidad no existe ningún tipo de línea y los átomos oscilan junto a la posición de equilibrio, es decir, en los nudos de la red cristalina.

Los diferentes metales poseen distintos tipos de redes cristalinas.

Con mayor frecuencia se encuentran las redes siguientes: cúbicas

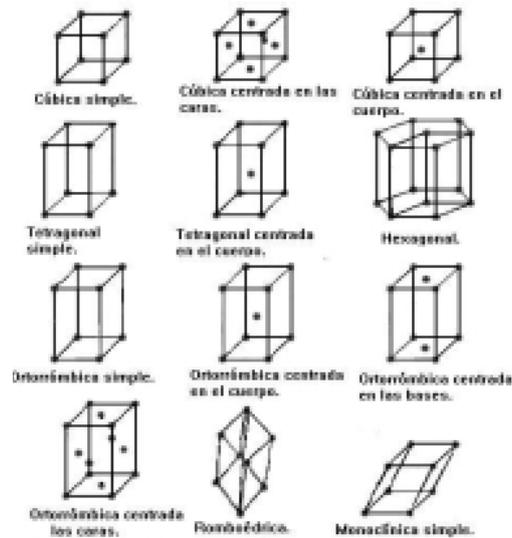


Figura 2.1 Redes Cristalinas

Fuente: Metalografía y tratamientos térmicos de los metales, Yu.M.Lajtim

Centrada en el cuerpo, cúbica centrada en las caras y hexagonal compacta (llamada también de empaquetamiento denso).

En la figura se ilustran las celdillas elementales de estas redes cristalinas.

En la celdilla de la red cúbica centrada en el cuerpo los átomos se disponen en los vértices y en el centro del cubo; red de este tipo tiene el cromo, el vanadio, el wolfranio, el molibdeno, etc. En la celdilla de la red cúbica centrada en las caras los átomos se disponen en los vértices y en el centro de cada cara del cubo; la red de este tipo la poseen el aluminio, el níquel, el cobre, el plomo, etc. En la celdilla de la red hexagonal los átomos se disponen en los vértices de las bases hexagonales del prisma. La red cristalina consta de un número enorme de celdillas. Las dimensiones de la red cristalina se caracterizan por sus parámetros expresados en nanómetros ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). El parámetro de la red cúbica igual a la longitud de la arista del cubo se designa con la letra  $a$  y se encuentra dentro de los límites de 0.28 a 0.6 nm. Para caracterizar la red hexagonal se utilizan dos parámetros:  $c/a=1.633$ , el empaquetamiento de los átomos es el más denso y a raíz de ello la red de este tipo lleva el nombre de hexagonal compacta.

### **2.1.2.2 Estructura real de los cristales metálicos**

Es necesario señalar que el orden en la disposición de los átomos (empaquetamiento), en la forma mostrada durante la descripción de las celdillas elementales de la red cristalina, no se observa por todo el volumen del cristal (de la red cristalina). El cristal real, a diferencia del ideal, tienen imperfecciones estructurales: puntuales, lineales y superficiales.

### **2.1.2.3 Imperfecciones puntuales**

Como se ha señalado, los átomos oscilan continuamente junto a los nudos de la red. Cuanta más alta es la temperatura, tanto mayor es la amplitud de estas oscilaciones. Aunque la mayoría de los átomos de metal en la red cristalina dada poseen la misma energía (media) y oscilan, a una temperatura dada, con igual amplitud, algunos átomos tienen una energía que supera considerablemente el valor medio. Semejantes átomos pueden desplazarse de un punto a otro. Con mayor facilidad se desplazan los átomos de la capa superficial, saliendo a la superficie. El lugar donde se encontraba este átomo se denomina hueco. Al cabo de cierto tiempo a este hueco se desplaza uno de los átomos vecinos procedente de una capa más profunda, y el nudo abandonado por este último también se torna vacante, allí, a su vez, se desplaza el átomo y así, sucesivamente. De este modo que parece como si el hueco se desplazara hacia las entrañas del cristal. La Fig. 2.2, d ilustran cómo el hueco deforma el aspecto de la cristalina.

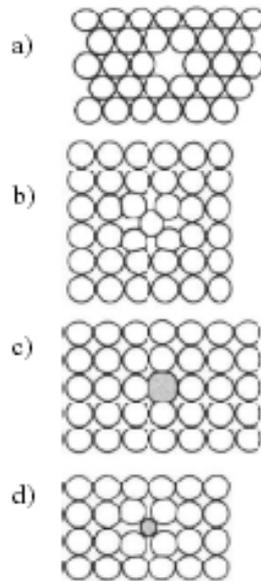


Figura 2.2 Defectos en el arreglo atómico

Fuente: Metalografía y tratamientos térmicos de los metales, Yu.M.Lajtim

Con la elevación de la temperatura aumenta el número de sitios vacantes y éstos, con mayor frecuencia, se trasladan de un nudo a otro. A los sitios vacantes pertenece un papel determinativo en los procesos de difusión que se desarrollan en los metales.

#### 2.1.2.4 Imperfecciones lineales

Estas imperfecciones llevan el nombre de dislocaciones. Uno de los tipos de dislocación es la de borde (dislocación lineal), cuya esencia se puede explicar en el siguiente ejemplo.

Realicemos en un cristal perfecto el desplazamiento a una distancia interatómica de una parte del cristal respecto a la otra a lo largo de cierto plano atómico en el tramo ADEF (Fig. 2.2 a). Como se advierte, se desplazó hacia la izquierda solamente la parte del cristal que se encuentra a la derecha del plano ABCD. Siendo tal el desplazamiento, el número de filas de átomos en la

parte superior del cristal es mayor en una unidad que el número de filas en la parte inferior (Fig. 2.2, b). El plano ABCD (Fig. 2.2, a) representa en este caso algo así como un plano atómico sobrante (llamado plano extra) introducido en la parte superior del cristal. Una línea AD perpendicular a la dirección del desplazamiento y que sirve de borde del plano extra se denomina dislocación de borde p lineal y su longitud puede alcanzar una distancia muchos miles de veces mayor que la interatómica.

Un rasgo característico de las dislocaciones es su movilidad. Esto se debe a que la red cristalina en la zona de dislocación está deformada elásticamente, y los átomos en esta zona están desplazados con respecto a su posición de equilibrio en la red cristalina, con tendencia a trasladarse a dicha posición.

La formación de las dislocaciones puede tener lugar durante la cristalización, la deformación plástica, el tratamiento térmico y otros procesos. Las dislocaciones ejercen una influencia sumamente considerable en las propiedades mecánicas.

### **2.1.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS METALES**

#### **ANÁLISIS MACROSCÓPICO**

Se denomina macroestructura la estructura del metal vista sin aumento o un aumento pequeño (de 10 a 30 veces) por medio de una lupa. La macroestructura puede investigarse directamente en la superficie del metal en una fractura o en la probeta macrográfica.

El método más simple de determinación de la estructura del metal es el estudio de la fractura . Este método se denomina fractografía. Por la fractura se

puede juzgar sobre el tamaño del grano y sobre las particularidades de la fundición y del tratamiento térmico, así como se pueden poner de manifiesto distintos defectos. Se denomina probeta macrográfica la superficie de la muestra preparada para la investigación de la macroestructura. La plantilla se recorta en un sitio determinado y en un plano determinado, en dependencia de lo que se somete a la investigación: pieza de fundición, laminado, costura soldada o una pieza tratada térmicamente, y de lo que es necesario poner de manifiesto y estudiar: la estructura del metal fundido y de la junta soldada, los defectos que alteran la densidad del metal (grietas, poros, rechupes), la heterogeneidad de la estructura después del tratamiento por presión, etc. La superficie de la plantilla se pulimenta y se somete al decapado con ácidos o con otros reactivos.

## **ANÁLISIS MICROSCÓPICO**

Este tipo de análisis se utiliza para determinar la forma y tamaño de los granos de los cuales está constituido el metal o la aleación; para detectar los cambios de la estructura interna de la aleación operados por acción de los diferentes regímenes de tratamiento; para poner de manifiesto los microdefectos del metal, o sea, las microgrietas, microporos, etc.; para descubrir las inclusiones no metálicas: los sulfuros, los óxidos, etc.

Para El microanálisis se recorta una muestra pequeña uno de cuyos planos se rectifica, se pulimenta y se somete al decapado. La superficie de la muestra preparada para la subsiguiente investigación con el microscopio se denomina probeta micrográfica. Durante el decapado, o sea, durante el tratamiento de la superficie con soluciones de ácidos o de sales, unas componentes estructurales se decapan en mayor medida, y otras, en menor. Al iluminar la probeta micrográfica, en el microscopio los rayos de luz se reflejan de distinta manera de las componentes estructurales desílmilmente decapadas. Los sitios de decapado más fuerte disipan en mayor grado los rayos reflejados y, por este motivo, se ven más oscuros.

Para la investigación de la estructura de los metales y de las aleaciones se aplican microscopios de luz reflejada llamados metalgráficos.

## **2.2 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO A IMPLEMENTAR**

### **2.2.1 TARJETA CAPTURADORA DE VIDEO**



Figura 2.3 Fotografía ilustrativa de tarjeta capturadora de video

Fuente: Propia

Sin duda una de las piezas más importantes en la implementación de la computadora es la tarjeta capturadora. De manera resumida, es lo que transmite al monitor la información gráfica que debe presentar en la pantalla. Con algo más de detalle, realiza dos operaciones:

- Interpreta los datos que le llegan del procesador, ordenándolos y calculando para poder presentarlos en la pantalla en forma de un rectángulo más o menos grande compuesto de puntos individuales de diferentes colores (píxeles).
- Coge la salida de datos digitales resultante de ese proceso y la transforma en una señal analógica que pueda entender el monitor.

Estos dos procesos suelen ser realizados por uno o más chips: el microprocesador gráfico (el cerebro de la tarjeta gráfica) y el conversor analógico-digital o RAMDAC, aunque en ocasiones existen chips accesorios para otras funciones o bien se realizan todas por un único chip.

El microprocesador puede ser muy potente y avanzado, tanto o más que el propio micro de la computadora; por eso algunos tienen hasta nombre propio: Virge, Rage Pro, Voodoo, TNT2... Incluso los hay con arquitecturas de 256 bits, el cuádruplo que los Pentium.

### **2.2.1.1 La resolución y el número de colores**

En el contexto que nos ocupa, la **resolución** es el número de puntos que es capaz de presentar por pantalla una tarjeta de vídeo, tanto en horizontal como en vertical. Así, "800x600" significa que la imagen está formada por 600 rectas horizontales de 800 puntos cada una. Para que nos hagamos una idea, un televisor (de cualquier tamaño) tiene una resolución equivalente de 800x625 puntos.

En cuanto al número de **colores**, resulta casi evidente: los que puede presentar a la vez por pantalla la tarjeta. Así, aunque las tarjetas EGA sólo representan a la vez 16 colores, los eligen de una paleta (sí, como las de pintor) de 64 colores.

La combinación de estos dos parámetros se denomina modo de vídeo; están estrechamente relacionados: a mayor resolución, menor número de colores representables, y a la inversa. En tarjetas modernas (SVGA y superiores), lo que las liga es la cantidad de memoria de vídeo (la que está presente en la tarjeta, no la memoria general o RAM). Algunas combinaciones posibles son:

Tabla 2.2 Resolución y máximo número de colores

MEMORIA DE VÍDEO	MÁXIMA RESOLUCIÓN (EN 2D)	MÁXIMO NÚMERO DE COLORES
512 Kb	1024x768 a 16 colores	256 a 640x480 puntos
1 MB	1280x1024 a 16 colores	16,7 millones a 640x480
2 MB	1600x1200 a 256 colores	16,7 millones a 800x600
4 MB	1600x1200 a 65.536 colores	16,7 millones a 1024x768

Fuente: Propia

Cabe destacar que el modo de vídeo elegido debe ser soportado por el monitor, ya que si no éste podría dañarse gravemente (muy gravemente). Esto depende de las características del mismo, en concreto de la Frecuencia Horizontal, como se explica en el apartado dedicado al monitor.

## 2.2.2 SISTEMA DE VIDEOMICROSCOPIA



Figura 2. 4 Fotografía ilustrativa de cámara de videomicroscopia digital

Fuente: Propia

Un sistema de videomicroscopia (VM) permite observar la imagen de un objeto obtenida a través de un microscopio convencional en un monitor de video.

En un sistema de video microscopia digital esta imagen es digitalizada y almacenada en un computador. El término video esta asociado a las imágenes obtenidas en el rango visible del espectro pero el concepto puede extenderse a otro tipo de imágenes obtenidas con un microscopio: imágenes de fluorescencia, Raman, de absorción multifotónica o en el rango UV e IR. Incluso en cierta ocasión la imagen no se forma por la captura simultánea de una imagen en un sensor bidimensional sino que pueden utilizarse sensores lineales o puntuales donde la imagen se forma barriendo adecuadamente el sensor.

Por otra parte existen video microscopios que consisten en un sistema óptico acoplado a una cámara de video. En estos dispositivos, a diferencia del microscopio convencional, el objeto no puede observarse directamente, sino que siempre requiere de un monitor de video.

En la literatura es usual denominar al elemento optoelectrónico utilizado para capturar imágenes video cámara o cámara de video o simplemente cámara a pesar de que dista mucho de ser el dispositivo utilizado para capturar imágenes de televisión como el camcorder.

#### **2.2.2.1 Videomicroscopia**

El sistema consiste básicamente en un microscopio o lupa, adaptado a cámara de video (lente relay), cámara y monitor de video. La imagen puede grabarse en un VCR, imprimirse utilizando una impresora de video, proyectarse con un proyector y observarse en varios monitores simultáneamente.

La calidad de la imagen depende de varios factores: calidad óptica del microscopio, de la lente relay, calidad de la cámara de video (resolución espacial, uniformidad de respuesta del sensor, ruido, etc.) y del monitor, del dispositivo de iluminación.

La cámara de video puede ser sensible al UV (ultravioleta), VIS (visible) o IR (infrarrojo). En el caso del visible puede ser una cámara color o monocromática. Todas estas alternativas hacen que los precios de un sistema de videomicroscopia tenga un costo de unos cientos de dólares en caso de utilizar cámaras y monitores de video de baja resolución por ejemplo del tipo de seguridad hasta decenas de miles de dólares.

En general las cámaras para videomicroscopia son de norma de video standard, norma RS170 / CCIR para cámaras monocromas o NTSC / PAL para cámaras color.

#### **2.2.2.2 Videocroscopia Digital**

Este caso la imagen obtenida por la cámara es digitalizada y almacenada en un computador. Esta imagen puede ser manipulada durante la adquisición o posteriormente utilizando un software adecuado de procesamiento digital de imágenes para mejorar la calidad de la imagen, obtener información cualitativa cuantitativa, almacenada, etc. Un sistema de videomicroscopia digital incluye los mismos dispositivos mencionados en a) más un digitalizador de imágenes y un software de adquisición y procesamiento. El digitalizador de imágenes puede estar en la cámara, en este caso las cámaras se dicen digitales o en el computador (frame grabber). El software de adquisición permite controlar diversos parámetros de la cámara y del digitalizador: tiempo de integración y del interruptor electrónico (shutter), velocidad de adquisición (imágenes por segundo) y de transferencia al computador y realizar ciertas funciones de preprocesamiento en tiempo real por ejemplo: binarización, modificación de contraste y brillo, corrección gama, etc.

## 2.3 DETERMINAR LAS VARIABLES DEL PROCESO

Clemex Vision PE convierte las imágenes de blanco y negro a digital que vienen de una cámara fotográfica análoga de TV. En una imagen gris de la escala, cada píxel se asigna un valor que refleja su nivel gris. Puesto que Clemex Vision PE codifica imágenes grises de la escala de 8 bits, a cada píxel se le asignan un valor que se extiende a partir de 0 a 255 o a  $2^8$  (0 es el negro, 255 es blanco). Inicialmente, las imágenes son señales que simplemente provienen de un dispositivo de entrada tal como una cámara de vídeo. Debido a esto, las imágenes se deben cargar en memoria antes de que puedan ser procesadas como escala de imágenes grises. Una vez en memoria, una imagen se puede modificar a voluntad para facilitar la binarización por el thresholding. Si las características de interés se contienen dentro de niveles grises discretos, el thresholding llega a ser menos subjetivo y con poca operación binaria que es requerida generalmente para aislar características del interés en un bitplane.

Típicamente, las imágenes están preparadas para las operaciones grises básicas que usan thresholding que quitan ruido electrónico y acentúe la diferencia entre la oscuridad y las fases de la luz. A pesar de esto, las imágenes que contienen características con los niveles grises similares pueden probar difícil al umbral correctamente. Aplicando operaciones grises selectivamente, ciertas características de interés se pueden aislar dentro de una gama restringida de niveles grises. Por ejemplo, los límites entre las características se pueden aislar a menudo con eficacia usando varios filtros de detección de borde, mientras que las características oscuras y brillantes pueden ser desgastadas o dilatadas, etc.

El grado a el cual se requieren las operaciones grises depende de la composición de la imagen y de la naturaleza de las características del interés - la experimentación es inestimable.

## **2.3.1 TERMINOLOGÍA**

### **2.3.1.1 Transformaciones De Vecindad**

Un método usado para las operaciones grises que modifica el valor gris de un píxel se basa en el valor gris de sus vecinos inmediatos. La gama de píxeles circundantes varía para diversas variedades de transformaciones y se llama un núcleo. En transformaciones de vecindad, cada píxel que hace encima de una imagen se procesa secuencialmente 256.252 píxeles se analiza en 512 x 512 una imagen, 1.280.000 en una imagen de 1024 X 1024. Las transformaciones de vecindad requieren una energía computacional enorme.

### **2.3.1.2 Ciclos**

Algunas instrucciones pueden ser repetidas para acentuar su efecto. Cada iteración puede ser llamada un ciclo. Los Usuarios pueden especificar un valor de ciclo para muchas operaciones grises.

### **2.3.1.3 Bordes**

Un borde es una transición aguda entre los valores ligeros y gris oscuro y se refiere a veces como un límite o frontera.

### **2.3.1.4 Convenciones Topográficas**

Algunas instrucciones se pueden repetir para acentuar su efecto. Cada iteración se llama un ciclo. Los usuarios pueden especificar un valor del ciclo para muchas operaciones grises. Un borde es una transición aguda entre los valores ligeros y gris oscuro y se refiere a veces como un límite o frontera.

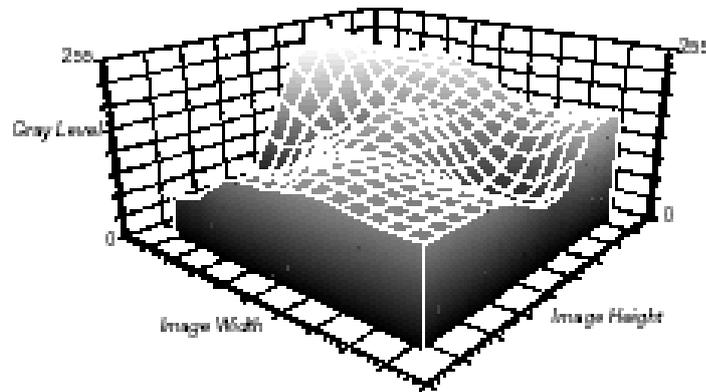


Figura 2.5 Imagen de escala de grises.  
Fuente: Clemex

## 2.4 CONCEPTUALIZAR EL PROCESO DE ENSAYO

En la metalografía es muy importante que las probetas se encuentren debidamente pulimentadas para poder examinar la estructura microscópica ya que la menor rayadura en su superficie será aumentada hasta 1000 veces más bajo el microscopio.

### 2.4.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS

Las probetas para ser examinadas en el microscopio deben ser cortadas en un medio adecuado, cuidando que durante tal operación no se recaliente o sufran procesos de templado.

Se procede a alisar la cara de la probeta pasando por un cierto número de lijas que van desde lijas de grano grueso como la número 250 hasta acabar con la más delicada que es la número 600.

Se prosigue con el desbaste tosco en el que se utiliza pasta de diamante para pulir las rayaduras que pudieren haber quedado del paso anterior y luego alúmina que dará un pulido de tipo espejo.

## 2.4.2 ATAQUE QUÍMICO

Una vez que las probetas estén totalmente pulidas, pueden ser solamente observadas al microscopio cuando estén pulidas, o bien después de haber sido sometidas al ataque ácido.

Debido al diverso tipo de materiales ya sean ferrosos o no ferrosos se deben tratar las probetas con diferentes ataques para que las mismas puedan ser observadas bajo el microscopio de una forma más clara y evidencien las características propias del análisis metalográfico.

A continuación se enumera los diferentes reactivos que se utilizará en la preparación de las probetas:

- Nital : 100 ml metanol absoluto, 1-5 ml  $\text{HNO}_3$ .
- Picral : 4 gr. ácido pícrico, 100 ml metanol absoluto.
- Vilella's reagent : 5 ml HCL, 1 gr. ácido pícrico, 100 ml metanol.
- Para Acero Inoxidable : 10 ml HCL, 3 ml  $\text{HNO}_3$ , 100 ml metanol.
- Para ataque de Aluminio: 90 ml  $\text{H}_2\text{O}$ , 10 ml  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .
- Para ataque de Cobre y aleaciones: 2gr.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 8 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 100 ml  $\text{H}_2\text{O}$ .
- Para ataque químico para espesores en materiales como: níquel, acero, aleaciones de cobre: 50 ml  $\text{HNO}_3$ , 50 ml ácido acético.

### 2.4.3 CAPTURA DE IMAGEN

Se procede a digitalizar la sección expuesta al microscopio, mediante la utilización del software capturador de imagen evidenciando que se debe hacer un correcto procedimiento en la preparación de las probetas para obtener los resultados más óptimos en la captura de imagen.

## 2.5 DETERMINACIÓN DE LOS ELEMENTOS A SER IMPLEMENTADOS

Los elementos ha ser implementados se encuentran divididos en dos partes principales como son: hardware y software.

### 2.5.1 MATRIZ DE DECISIÓN

Tabla 2.3 Matriz de decisión

Programa	Precio	Aplicaciones	Funcionalidad	Soporte Técnico	Capacidad	Total
<b>CLEMEX PE</b>	4	3	4	2	3	16
<b>IA32 IMAGE</b>	2	3	3	4	3	15

Fuente: Propia

#### Parámetros de medición

Muy Buena	4
Buena	3
Regular	2
Mala	1

**Nota.-**La comparación se realiza con el sistema IA 32 IMAGE, por cuanto es el único software de este tipo que se comercializa localmente.

**Conclusión.-**De la evaluación realizada, podemos concluir que el factor decisivo para seleccionar al Sistema CLEMEX PE, radica en el precio de distribución en el mercado (CLEMEX PE USD 4,496.00 frente a IA32 IMAGE USD 24,304.00), ya que los otros factores de medición, son similares y en el caso de Soporte Técnico el sistema IA32 IMAGE lo supera.

### **2.5.2 HARDWARE**

El hardware ha ser implementado son: tarjeta de captura de video y una cámara de videomicroscopia, las mismas que al ser instaladas en el computador y microscopio respectivamente cumplirán la tarea de captura y digitalización de imágenes para posterior estudio en el software (Clemex Vision PE ) a ser instalado en el computador.

### **2.5.3 SOFTWARE**

El software a ser instalado en el computador es el Clemex Vision PE 3.5 en su versión profesional que permitirá realizar todo tipo de análisis metalográfico.

Ahora que los componentes físicos del sistema del análisis de imagen se han puesto juntos y los dispositivos puestos a disposición el sistema operativo de Windows, se puede comenzar la utilización del Clemex Vision PE, y hacerse familiar con el interfaz del Clemex Vision PE.

Para mayor información concerniente a la tarjeta de video, cámara digital y programa de a ser implementado refiérase al siguiente capítulo en las características técnicas de cada uno de los componentes.

#### 2.5.4 INSTALACIÓN ADECUADA DEL SISTEMA

Instale el sistema de prueba del microdureza de CLEMEX en una localización que cumpla los siguientes criterios:

- Temperatura de cuarto entre 15 °C – 30 °C.
- 10 – 80 % de humedad (no condensación).
- No exponga directamente a la luz solar (o a algún aparato que pueda genera una explosión por el calor).
- En un cuarto limpio, libre del polvo del medio ambiente, fuera del alcance de ventiladores y aire acondicionados.
- Remueva cualquier fuente que pudiera producir fuertes vibraciones o golpes físicos.

En adición, el sistema debería ser instalado de una manera muy funcional como sea posible.

Es recomendable una colocación como se muestra en la gráfica. Una fuerte y estable superficie de trabajo es absolutamente necesaria para el soporte de pruebas de dureza y tipo de monitor.

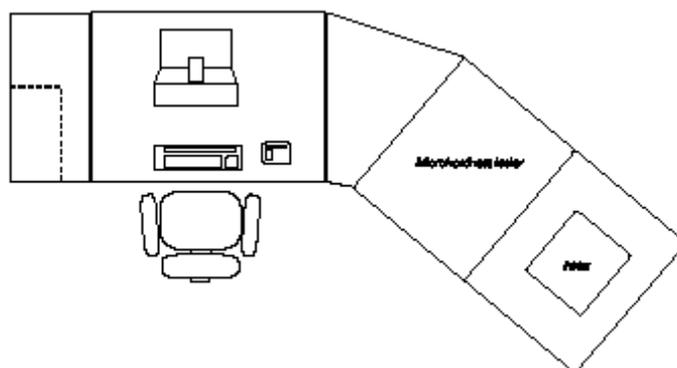


Figura 2.5 Disposición recomendada

# CAPÍTULO III

## IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE

### 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO



<sup>3</sup>Figura 3.1 Equipo a Implementar



Figura 3.2 Cámara en microscopio



Figura 3.3 Tarjeta de captura de video



Figura 3.4 Ensamble de tarjeta

---

<sup>3</sup> Las figuras de esta página son de Fuente Propia

## 3.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Las características más importantes del equipo se detallan a continuación:

### 3.2.1 Tarjeta de video

- Tarjeta de video con resolución mínima de 640 x 480 píxeles.
- Mínimo 256 colores SVGA.



Figura 3.5 Tarjeta de video 640 x 480 SVGA  
Fuente: Propia

### 3.2.2 Cámara de video



Figura 3.6 Cámara de video 15 CB25 color  
Fuente: Propia

Tabla 3.1 Características principales

Lente electrónico	1/3 plg. CCD Color Sony
Tamaño de imagen ( horz x vert en mm)	4.82 x 3.64
Elementos de Imagen (horz x vert mm)	510 x 492
Resolución	380 líneas
Píxeles	290.000
Disparador electrónico	1/100.000 seg.
Balance de blanco	Automático
Compensación de la luz posterior	on/off
Control automático de autogranancia	On/off
Energía de entrada	12 V DC regulado con $\pm 5\%$
Consumo de energía	290 ma
Temperatura de almacenamiento	-30 °C hasta +60 °C

Fuente: Propia

### 3.2.3 Clemex

**CLEMEX**



Figura 3.7 Software de análisis metalográfico Clemex Vision PE

Fuente: Clemex

El Clemex Vision PE es un software de procesamiento digital de análisis de imágenes que permite realizar diferentes aplicaciones metalográficas (medición de grano, porcentaje de constitución de materiales, medición de áreas de partículas, etc). Convierte las imágenes de blanco y negro a digital donde se le asigna una escala de gris mediante la utilización de píxeles para luego modificar a voluntad la binarización por el comando thresholding.

Además puede controlar otros diversos parámetros como: velocidad de adquisición de imagen y de transferencia a computador.

### **3.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA**

El proyecto se encuentra localizado en:

Provincia: Pichincha  
Cantón: Rumiñahui  
Dirección: Av. El progreso S/N  
Sector: Sangolquí  
Lugar: ESPE (Laboratorio de Metalurgia)

### **3.4 MONTAJE DE LA CÁMARA DIGITAL AL MICROSCOPIO**

El montaje de la cámara consistirá en los siguientes pasos que se detallan a continuación:

1. Retire la tapa protectora del lente de la cámara digital con cuidado.
2. A continuación retire el lente angular del microscopio y coloque con cuidado la cámara en el sitio que el este ocupaba.
3. Conecte el cable de energía de la cámara y enciéndala.

#### **3.4.1 Coloque los elementos juntos**

##### **3.4.1.1 La computadora**

1. Coloque la computadora y todos sus componentes en un lugar accesible.
2. El microscopio y la computadora deben ser colocados tan cerca como sea posible del lugar de trabajo.
3. Luego conecte la cámara e inicie la digitalización



Figura 3.8 Diagrama ilustrativo de montaje de la cámara al lente del microscopio

Fuente: Propia

## **MONTAJE DE LA TARJETA CAPTURADORA DE VIDEO**

- 1.- Abra su computadora y remueva su tarjeta existente.

Apague su computadora en todos los periféricos como el monitor o impresora. Abra a la computadora y quite su tarjeta capturadora de gráficos existente. (Si usted tiene un adaptador en la tarjeta madre de su computadora, debe desactivarse automáticamente después de que la tarjeta de video sea instalada.)

- 2.- Escoja una hendidura de expansión.

La mayoría de las computadoras tiene diferentes tipos de hendiduras de expansión. Escoja una hendidura AGP o PCI, dependiendo del tipo de tarjeta de gráficos que usted tenga. El manual del sistema debe identificar la claramente la localización de cada tipo de hendidura de expansión en el computador.

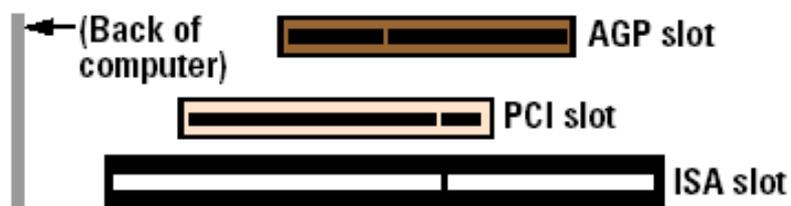


Figura 3.9 Puertos de la tarjeta madre

Fuente: Clemex

3.- Inserte la tarjeta de gráficos.

Quite la tapa para la hendidura que usted piensa usar. Ahorre el tornillo para el anaquele de la montura.

Posicione su tarjeta capturadora encima de la hendidura de la expansión que usted ha escogido. Empuje la tarjeta firmemente y uniformemente en hasta que se siente totalmente en la hendidura. Reemplace el tornillo para afianzar el anaquele de su tarjeta capturadora al marco de la computadora.

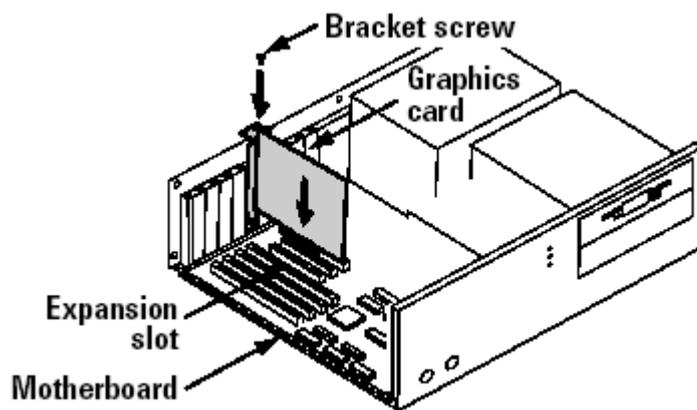


Figura 3.10 Posición correcta de la tarjeta capturadora de video.

Fuente: Clemex

#### 4.- Conexión al monitor

Simplemente tape su cable del monitor en el conector del monitor en su tarjeta capturadora. Asegúrese que el otro extremo del cable del monitor se conecta propiamente a su monitor. Vea su manual del monitor para más información.

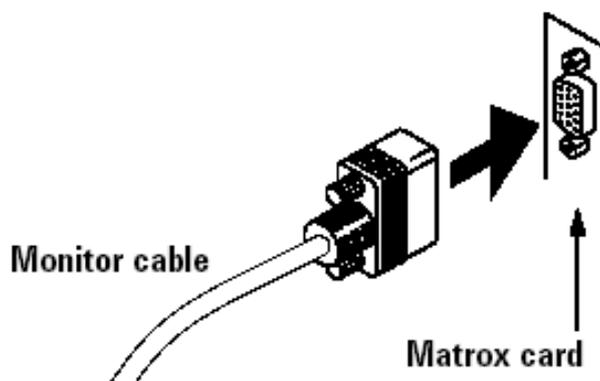


Figura 3.11 Conexión del cable del monitor a la tarjeta capturadora de video

Fuente: Clemex

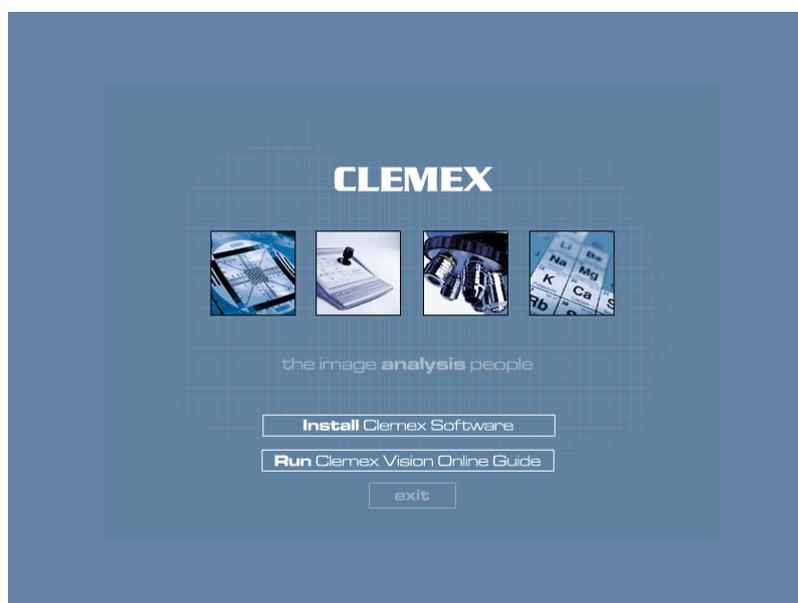
5.- Encienda la computadora y el monitor.

6.- Recuerde descargar la electricidad estática de su cuerpo tocando la carcasa metálica de la computadora.

## INSTALACIÓN DE CLEMEX, SOFTWARE QUE PERMITE CAPTURAR IMÁGENES

La instalación del Clemex puede realizarse de la siguiente manera:

1. Inserte el CD de instalación del programa en la unidad D del PC y señale en la opción: Install Clemex Software.



<sup>4</sup>Figura 3.12 Pantalla de inicio de presentación del programa a instalar

---

<sup>4</sup> Las figuras de esta sección Fuente: Clemex Vision PE.

2. Inserte: User Name, Company Name y Serial Number.

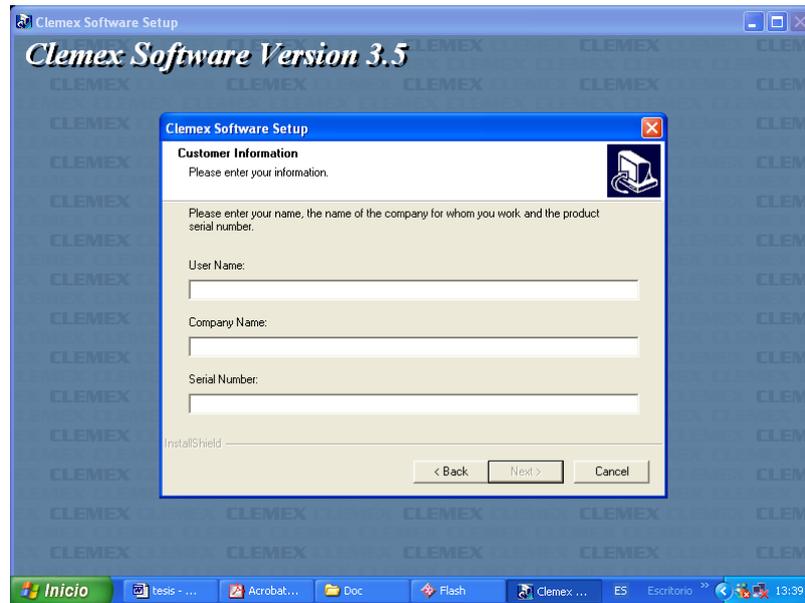


Figura 3.13 Pantalla de identificación del producto

3. Instale las funciones: Vision (Professional Edition), R' kive Explorer, Explorations, luego haga clic en siguiente.

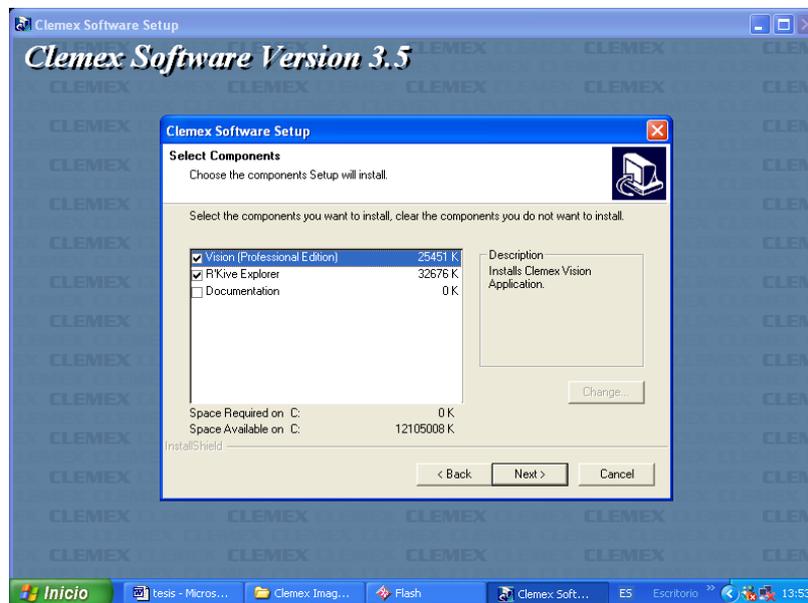


Figura 3.14 Pantalla de instalación de componentes del software

- Una vez concluido los anteriores pasos se habrá instalado con éxito el software donde se mostrará el icono con la inscripción “Clemex Vision Profesional Edition” que dará inicio al mismo.

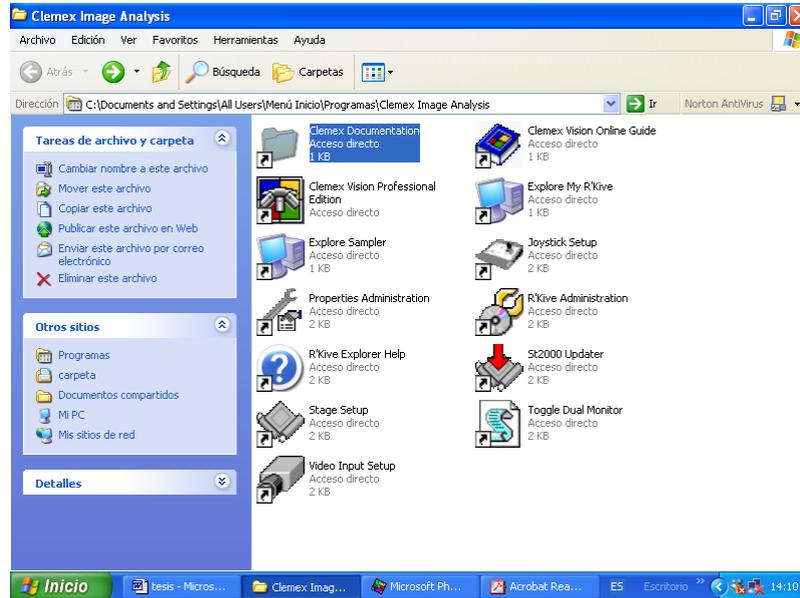


Figura 3.15 Pantalla de finalización de instalación del programa

### 3.7 CAPACITACIÓN DEL USO Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

Para conocer y explorar las aplicaciones del programa CLEMEX PE, se participó de un curso interactivo en la Escuela Politécnica del Chimborazo, a cargo del proveedor del sistema y colaborador, Ing. Mario Pastor, catedrático del área de Metalurgia en dicha institución

En primera instancia se recibió una charla explicativa de las bondades y aplicaciones del sistema con las que se realizarán los diferentes análisis metalográficos; con los cuales se determina las características, componentes y constituyentes de los metales, todo esto mediante la obtención de imágenes digitalizadas y de parámetros computarizados de medición.

Se realizaron ejercicios prácticos de uso del programa Clemex Vision PE, con la finalidad de comprender su uso y de familiarizarse con los principales comandos y funciones existentes en el mismo, lo cual sirvió como base para el desarrollo de la investigación, por cuanto se pudo comprender que dicho programa es una herramienta que sirve para cuantificar con exactitud o mayor aproximación las mediciones de las características concernientes a los metales analizados.

Se conoció cada uno de los componentes del equipo, su manejo, funcionalidad y aplicación dentro de un proceso analítico, los principales componentes del equipo son: Microscopio, tarjeta capturadora de video, videocámara y Software Clemex Vision PE.

### **Funcionamiento del Equipo**

El microscopio es utilizado para magnificar la imagen, posee dos lentes oculares, el uno puede servir como enfoque de la muestra analizada y en el otro se encuentra la videocámara, que permite capturar la imagen para ser transferida al computador.

La videocámara posee un aumento de 10X, la transferencia de imagen a la pantalla del computador se realiza mediante un enlace con un cable coaxial, cuyos datos son digitalizados por la tarjeta capturadora de video.

Una vez que la imagen tenga un formato JPG o BMP, es exportada al programa CLEMEX PE, para proseguir con los distintos análisis metalográficos.

Es importante que se considere la precaución en el manejo y mantenimiento del equipo, ya que su limpieza, ubicación y conexiones, deben ser las adecuadas, con la finalidad de evitar la presencia de suciedad; rayaduras que se pudieran ocasionar en los lentes objetivos y oculares, asimismo las distensiones abruptas en las conexiones y el deterioro o daño de los componentes tangibles internos.

# **CAPÍTULO IV**

## **PRUEBA Y PUESTA A PUNTO**

### **4.1 PRUEBAS**

Una rutina o prueba consiste en una secuencia de las operaciones que se realizan en cada imagen o campo del análisis. La meta es producir una detección binaria representativa de la microestructura y obtener medidas significativas de una característica particular. La rutina se construye una vez en un campo típico, entonces él se repite automáticamente en cualquier número de campos, generando resulta para el área total cubierta en el análisis. La secuencia lógica de una rutina del análisis de imagen consiste en los seis pasos siguientes que se pueden clasificar como seis tipos de operaciones:

2. Adquisición de imagen.
3. Realce gris de imagen.
4. Binarización thresholding.
5. Operaciones de imagen binaria.
6. Medidas.
7. Generación de informe.

#### **4.1.1 ENSAYOS METALOGRAFICOS EN TRES METALES DIFERENTES.**

Para la realización de los ensayos se utilizaran los siguientes materiales:

Tabla 4.1 Materiales Suministrados

NUMERO DE MUESTRA	MATERIAL			
	CODIGO	BOHLER	AISI	TRATAMIENTO
1	920	E920	1018	
2	945	E945	1045	Recocido
3	D3	K100		

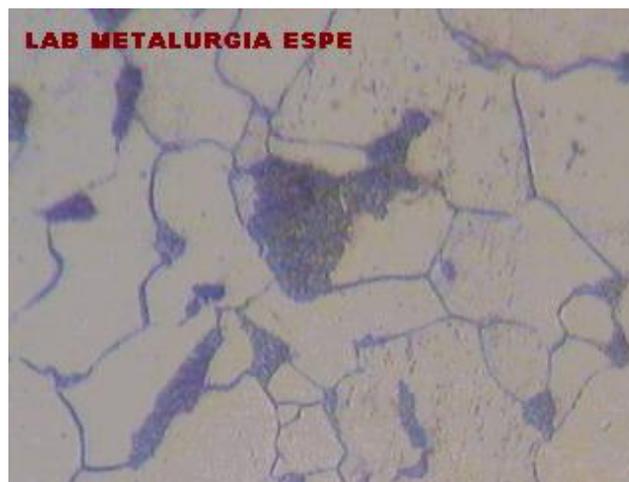
Fuente: Propia

Se procede a realizar el análisis metalográfico, cuyos resultados se basan en las siguientes normas ASTM:

- ASTM E-3 Preparing of Metallographic Specimens.
- ASTM E-407 Method For Microetching Metals and Alloys.
- ASTM E-112 Test Methods For Determining Average Grain Size.

#### 4.1.1.1 Medición de tamaño de grano

##### ACERO AISI 1018, 400X



<sup>5</sup>Figura 4.1 Imagen digitalizada tamaño de grano

<sup>5</sup> Todas la figuras de este capítulo Fuente: Clemex Vision PE

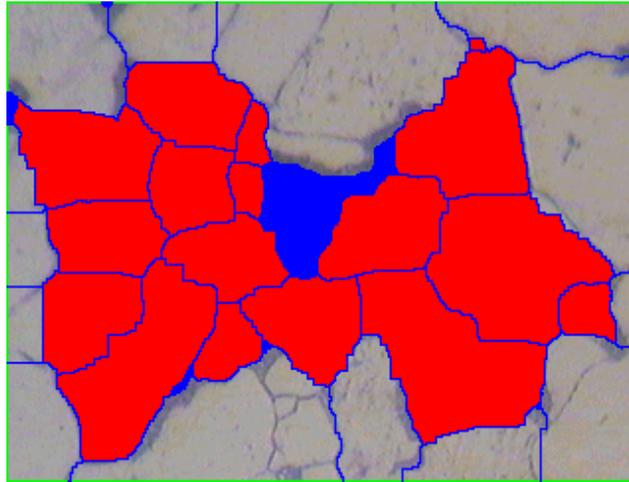


Figura 4.2 Imagen binarizada tamaño de grano

#### 4.1.1.2 PORCENTAJE DE FERRITA Y PERLITA

##### ACERO NORMALIZADO 1045, 200X

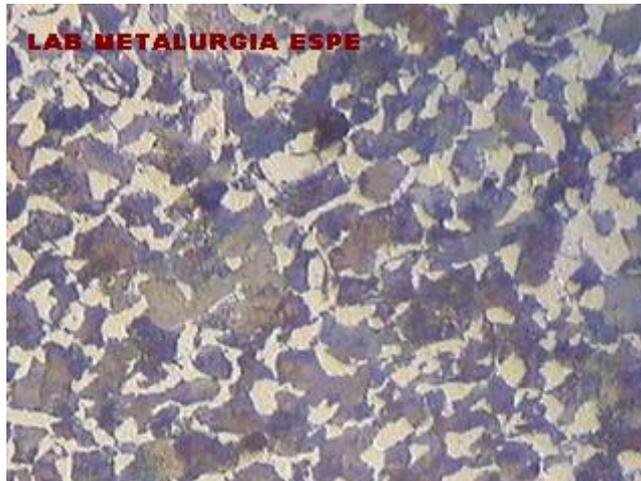


Figura 4.3 Imagen digitalizada porcentaje de ferrita y perlita

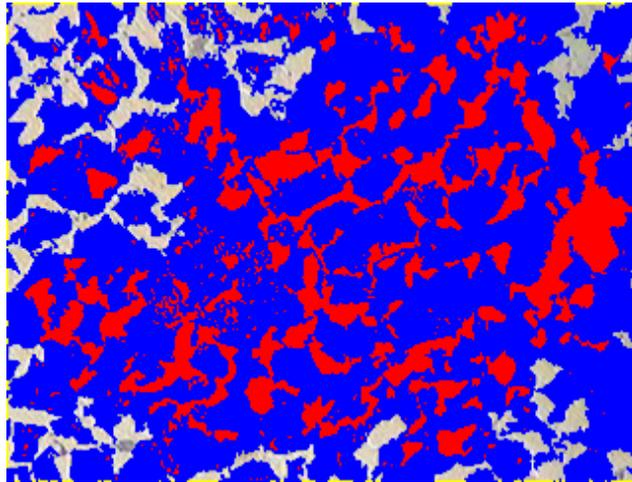


Figura 4.4 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita

#### 4.1.1.3 Porcentaje de Inclusiones

ACERO K100, 200X



Figura 4.5 Imagen digitalizada inclusiones

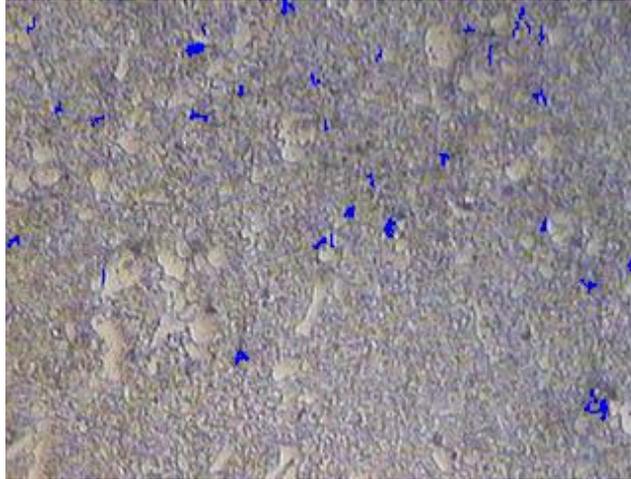


Figura 4.6 Imagen binarizada inclusiones

## 4.2 PUESTA A PUNTO

### 4.2.1 Inicialización y Calibración de los componentes

La correcta calibración de la entrada de video es absolutamente indispensable para obtener medidas exactas en el análisis de la imagen, la unidad de medida es el píxel, ya que de acuerdo a su condición variará de una cámara a otra, dependiendo del adaptador de la cámara y la amplificación de la lente.

Para obtener un valor significativo, el tamaño de un píxel debe medirse usando una unidad normal, por lo general las micras y esta Información es comunicada al software de análisis de imagen.

## Procedimiento de calibración del Software CLEMEX PE

1.- Seleccionar la Calibración de la Entrada de video en el menú Principal, la ventana de diálogo aparecerá con un calibrador a lo largo de la ventana de imagen.

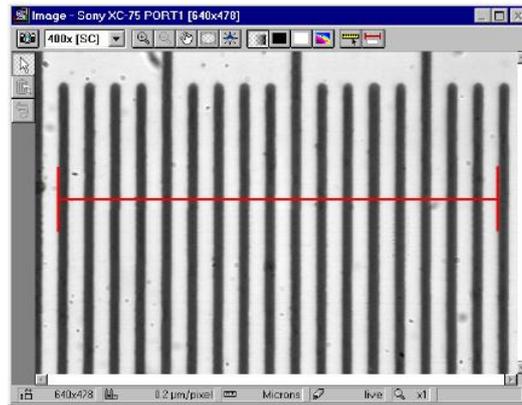


Figura 4.7 El calibrador se ha estirado a 170 micras.

La lista de valores de calibración aparece en la pantalla principal los cuales por defecto son aproximadamente verdaderos. Durante el proceso de calibración se puede reemplazar las aproximaciones con valores actuales que correspondan a cada uno de los lentes objetivos.

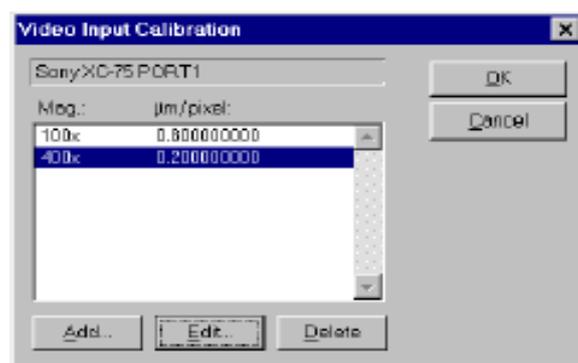


Figura 4.8 Ventana de diálogo entrada calibración

2.- Asegurar que el lente que será calibrado esté físicamente seleccionado en el microscopio y escoja la amplificación correcta que se encuentra

disponible en la ventana de diálogo de la Calibración, de no encontrar el valor en la lista desplegada, pulse el botón ADD para crear una nueva amplificación.

3.- Pulse el botón EDIT, y aparecerá una ventana titulada EDIT MAGNIFICATION.

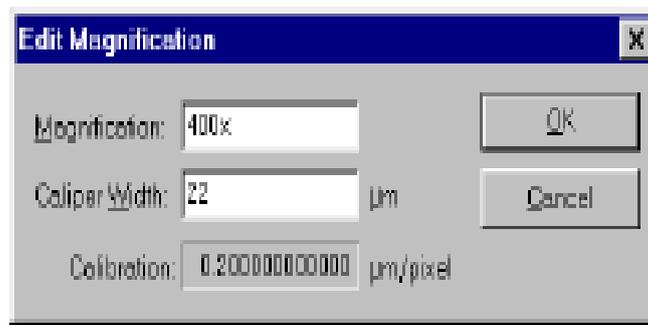


Figura 4.9 Ventana de diálogo de amplificación

4.- Mida el ancho de un grupo de píxeles con la ayuda de una regla graduada o patrón y el calibrador electrónico. Empiece poniendo la regla graduada en la pantalla de análisis y la escala aparecerá horizontalmente en la pantalla.

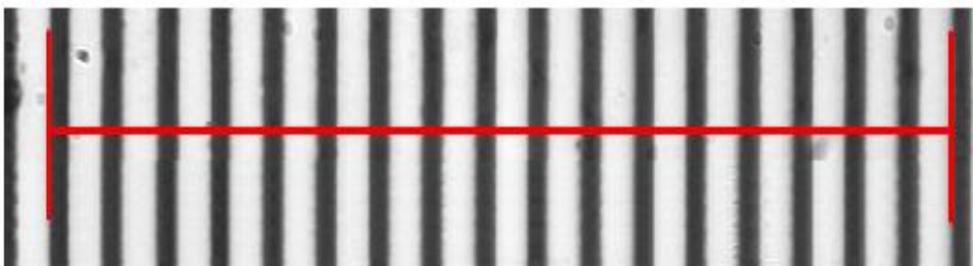


Figura 4.10 La colocación apropiada del calibrador en la regla graduada

Si el micrómetro no se visualiza claramente será necesario que se aumente o se disminuya la iluminación ajustando el potenciómetro del microscopio.

5.- Asegurarse que las unidades desplegadas en la caja de calibración sean las mismas que las especificadas en la regla graduada o micrómetro. Si las unidades son diferentes, cambie las unidades antes de continuar.

6.- Pulsar en el centro de la regla del calibrador y arrastrar sobre el micrómetro. La posición del calibrador debe estar en la parte anterior de las divisiones de la regla graduada y alejarlo hasta el extremo izquierdo de la pantalla.

7.- Seleccionar la parte derecha del calibrador y estire el calibrador hasta el interior de la pierna también está exactamente al borde izquierdo de un marcador (al derecho lejano del pantalla). Estire el calibrador tan ancho como posible para obtener la máximo exactitud.

8.- Una vez que el calibrador se estira a lo máximo, cuente el número de marcas del micrómetro y determine la distancia entre los extremos del calibrador. Ingrese ese valor en la caja de dialogo para la anchura del calibrador.

9.- Pulsar el botón OK. El factor de la calibración para esta amplificación es inmediatamente actualizado.

10.- Seleccione otro lente objetivo en la lista y repita el mismo procedimiento.

11.- Pulsar el botón OK para aceptar los valores de la nueva calibración y salir de la ventana de Calibración de la Entrada de video.

El sistema se encuentra calibrado. El factor estará automáticamente en cualquier momento que sea utilizado aun cuando las unidades de medida han cambiado.

Para anular una amplificación:

Escoja un factor de amplificación en la ventana de diálogo Entrada Calibración de video y selecciona Delete.

**Para agregar una nueva amplificación:**

1.- Escoja un factor de amplificación en la ventana de diálogo Entrada Calibración de video y seleccionar ADD. La ventana de diálogo EDIT MAGNIFICATION aparecerá.

2.- Nombrar la amplificación, especifique la anchura y posición y pulse el botón OK.

### **Precisión de la medida**

Clemex CIR acostumbra a presentar 12 lugares al derecho del decimal para las escenas de la calibración mientras todos los otros cálculos se hacen con una precisión de 15 lugares al derecho del punto decimal.

El factor de la calibración nunca se despliega con más de 5 números al derecho del punto decimal. Por consiguiente, si las unidades son muy grandes (mm o pulgadas) y la distancia que es moderado es muy pequeña, es posible que el valor de la calibración aparezca como 0.0000 cuando es de hecho 0.000012345678 o algún otro número más pequeño que 0.0001. En tales casos, nosotros recomendamos cambiar la unidad de medida que usa las Preferencias ordene en el menú de las Opciones (ventana Principal).

Los factores de la calibración son la unidad más pequeña de medida posible para cualquier lente y como tal, limite la precisión de medidas.

## 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Medición de grano en acero 1018

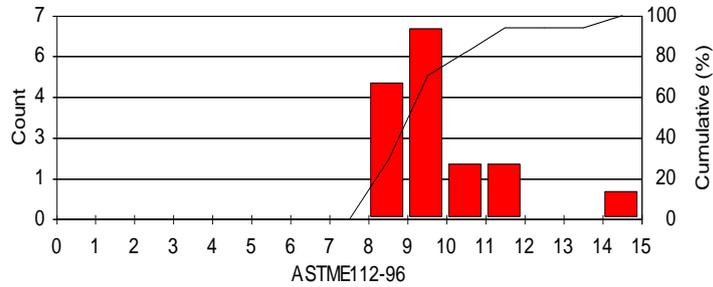


Figura 4.11 Gráfico de barras medición de grano

#### Statistics

Minimum: 8,06  
 Maximum: 14,47  
 Rating #: 9,41  
 Count: 17  
 Field Area: 7548,0  $\mu\text{m}^2$   
 Total Area: 7548,0  $\mu\text{m}^2$

### Porcentaje de ferrita y perlita en acero recocido 1045

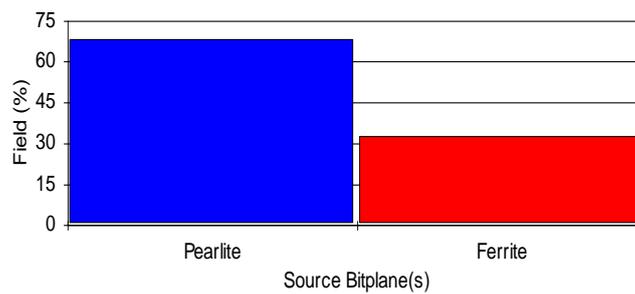


Figura 4.12 Porcentaje de ferrita y perlita

S. Bitplane(s)	Field (%)
Pearlite	67,78
Ferrite	32,22

### Statistics

Field Count: 1  
Field Area: 253884,3  $\mu\text{m}^2$   
Total Area: 253884,3  $\mu\text{m}^2$

### Porcentaje de Inclusiones en acero K100

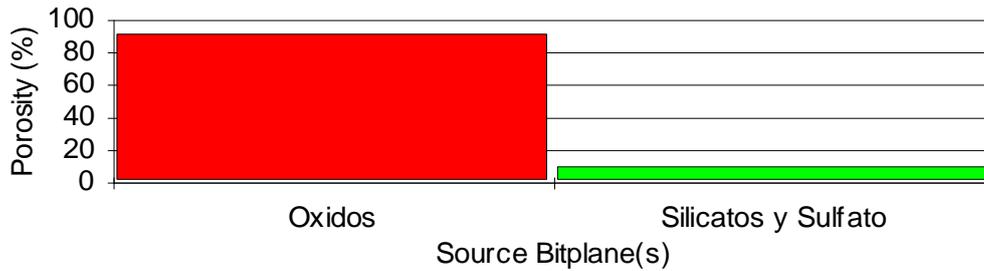


Figura 4.13 Porcentaje de Inclusiones

S. Bitplane(s)	Inclusiones (%)
Óxidos	90,64
Silicatos y sulfatos	9,36

### Tamaño de los Óxidos

#### Statistics

Minimum: 0,24  $\mu\text{m}$   
Maximum: 1  $\mu\text{m}$   
Mean: 0,641  $\mu\text{m}$

### Longitud de Silicatos y Sulfatos

#### Statistics

Minimum: 5,7  $\mu\text{m}$   
Maximum: 12,0  $\mu\text{m}$   
Mean: 8,83  $\mu\text{m}$

# CAPÍTULO V

## VALORACIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 ENSAYO METALOGRAFICO EN FRANZ VIEGNER

#### 5.1.1 PRUEBA SOLICITADA

Las muestras de materiales presentados por la empresa son:

Tabla 5.1 Muestras presentadas por Franz Viegner Fuente: Propia

NUMERO	CÓDIGO	MATERIAL	PRUEBA SOLICITADA	ATAQUE QUIMICO	
				Medición de Espesor	Tamaño de grano
1	A1	laminilla con recubrimiento de cobre y níquel (Baquelita)	Medición de espesor	Sin ataque	
2	A2	Asa de Plástico con recubrimiento de Cobre y Níquel	Medición de espesor	Sin ataque	
3	A3	Latón con recubrimiento	Medición de espesor (Níquel, Cromo)	50 ml HNO <sub>3</sub> 50ml ácido acético	2gr. K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 8 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 100ml H <sub>2</sub> O

Se procede a realizar el análisis metalográfico, cuyos resultados se basan en las siguientes normas ASTM:

- ASTM E-3 Preparing of Metallographic Specimens.
- ASTM E-407 Method For Microetching Metals and Alloys.
- ASTM E-112 Test Methods For Determining Average Grain Size.
- ASTM B-487 Measurement Of Metal And Oxide Thickness By Microscopical Examination Of A Cross Section.

Para este fin se utilizara el programa CLEMEX VISION EDITION PROFESSIONAL implementado en el laboratorio de metalografía de la ESPE.

### Muestra A1



<sup>6</sup>Figura 5.1 Imagen digitalizada baquelita, 400X

---

<sup>6</sup> Las figuras de este capítulo Fuente: Clemex Visión PE

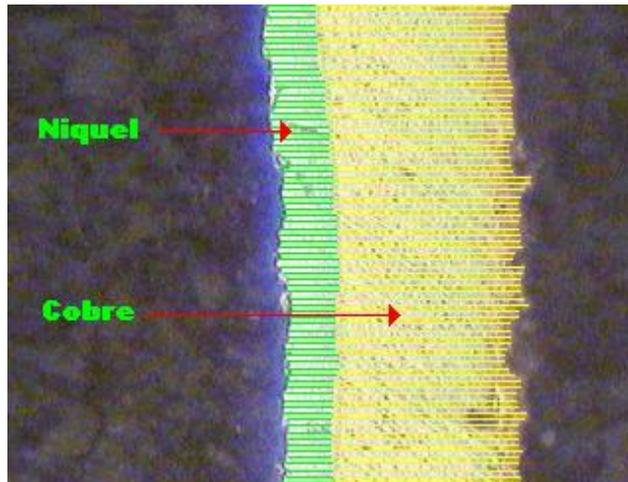


Figura 5.2 Imagen binarizada baquelita

### Muestra A2

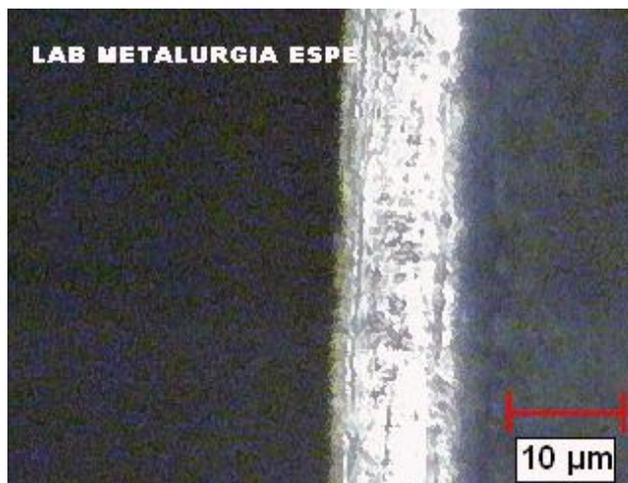


Figura 5.3 Imagen digitalizada plástico, 400X

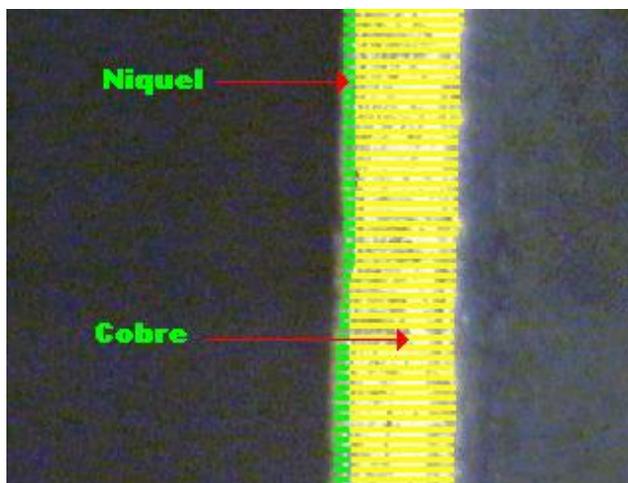


Figura 5.4 Imagen binarizada plástico

Muestra A3



Figura 5.5 Imagen digitalizada latón, 400X

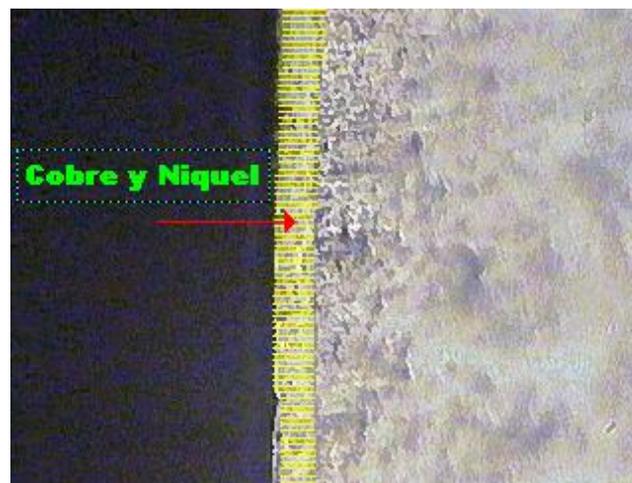


Figura 5.6 Imagen binarizada latón

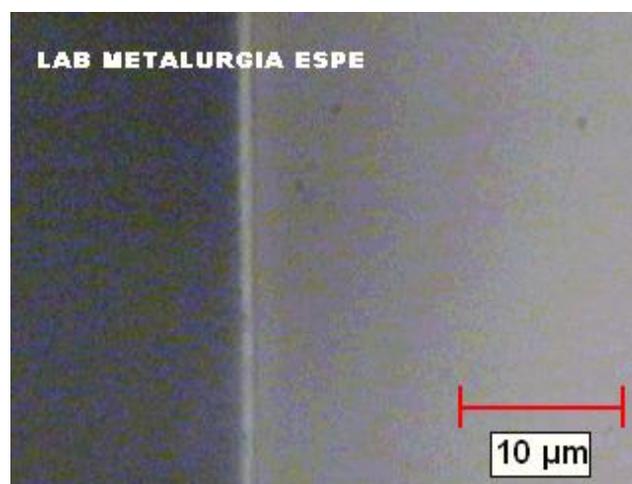


Figura 5.7 Imagen digitalizada latón, 1000X



Figura 5.8 Imagen binarizada latón

### Porcentaje de Constituyentes

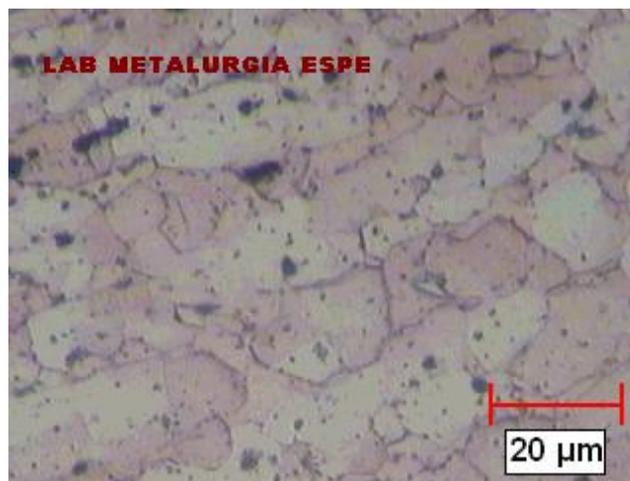


Figura 5.9 Imagen digitalizada latón, 400X

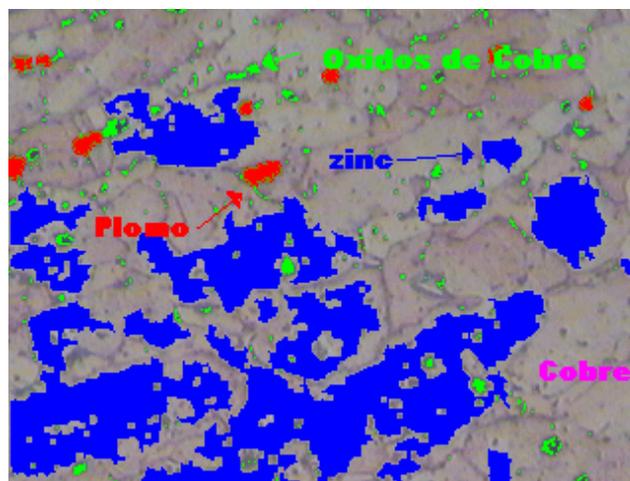


Figura 5.10 Imagen binarizada latón

## Tamaño De Grano

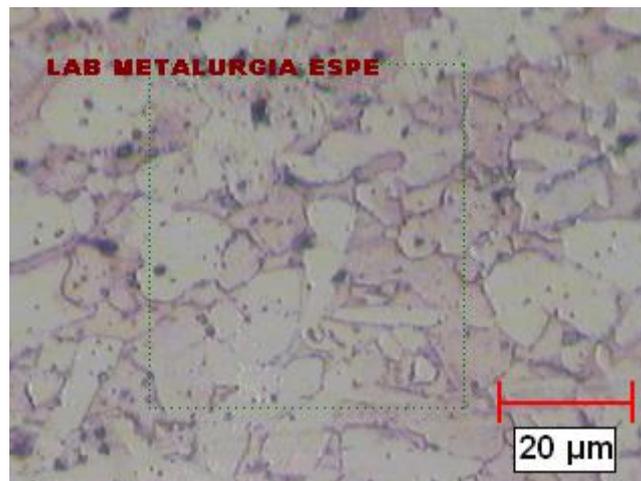


Figura 5.11 Imagen digitalizada latón, 400X

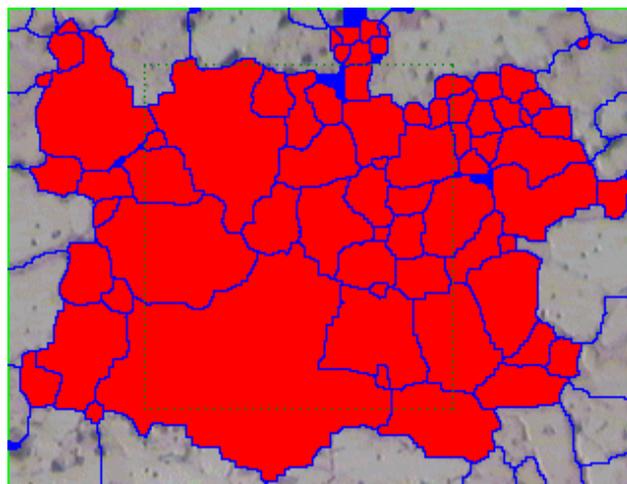


Figura 5.12 Imagen binarizada latón

## 5.1.2 ANÀLISIS DE RESULTADOS

### Muestra A1

#### Espesor De Cobre

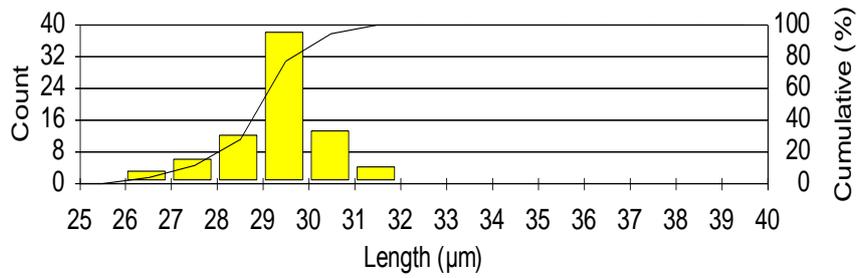


Figura 5.13 Gráfico de barras espesor de cromo

#### Statistics

Minimum: 26,3 μm

Maximum: 31,3 μm

Mean: 29,3 μm

Total Area: 7548,0 μm<sup>2</sup>

#### Espesor De Níquel

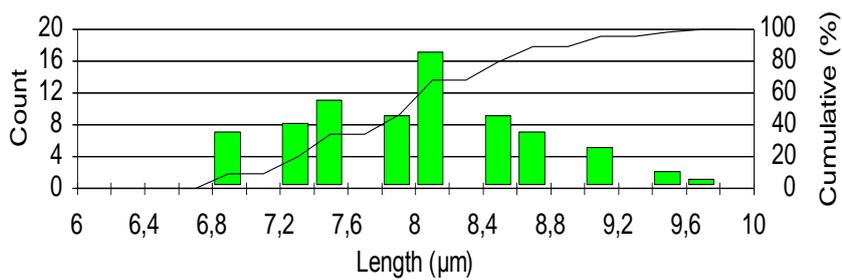


Figura 5.14 Gráfico de barras espesor de níquel

#### Statistics

Minimum: 6,9 μm

Maximum: 9,7 μm

Mean: 8,02 μm

Total Area: 7548,0 μm<sup>2</sup>

## Muestra A2

### Espesor De Cobre

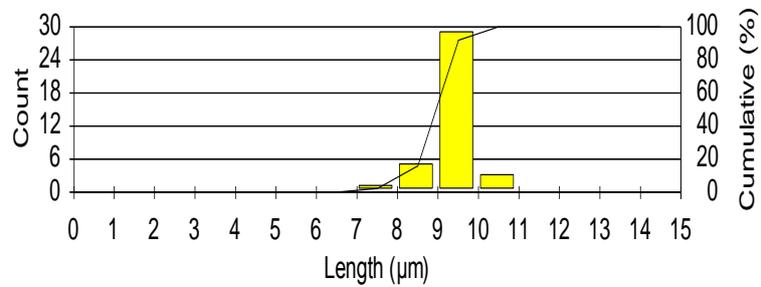


Figura 5.15 Gráfico de barras espesor cobre

#### Statistics

Minimum: 7,9 μm

Maximum: 10,2 μm

Mean: 9,48 μm

Total Area: 2447,0 μm<sup>2</sup>

### Espesor De Níquel

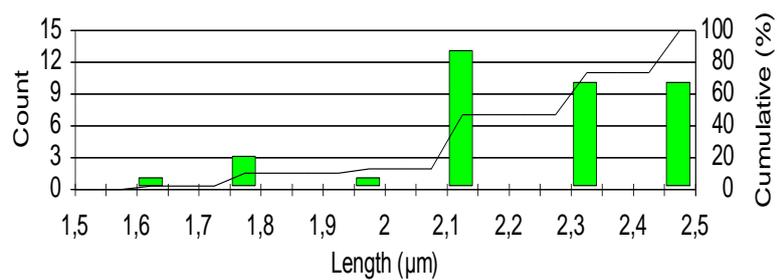


Figura 5.16 Gráfico de barras espesor níquel

#### Statistics

Minimum: 1,6 μm

Maximum: 2,5 μm

Mean: 2,24 μm

Total Area: 2447,0 μm<sup>2</sup>

## Muestra A3

### Espesor de Níquel

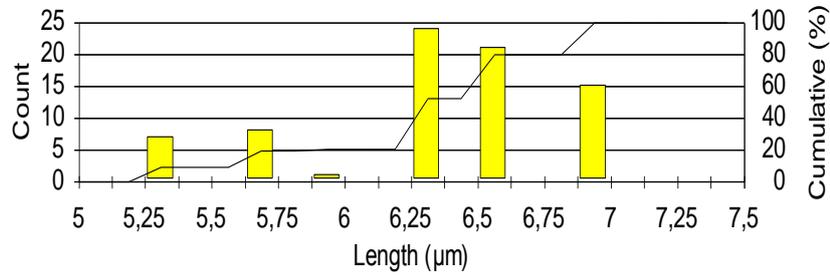


Figura 5.17 Gráfica de barras espesor níquel

#### Statistics

Minimum: 5,3 µm

Maximum: 6,9 µm

Mean: 6,32 µm

Total Area: 7548,0 µm<sup>2</sup>

### Espesor De Cromo

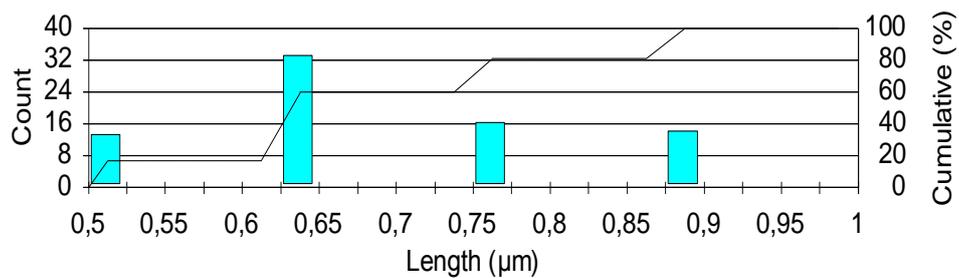


Figura 5.18 Gráfico de barras espesor cromo

#### Statistics

Minimum: 0,5 µm

Maximum: 0,9 µm

Mean: 0,678 µm

Total Area: 1208,4 µm<sup>2</sup>

## Porcentaje De Constituyentes

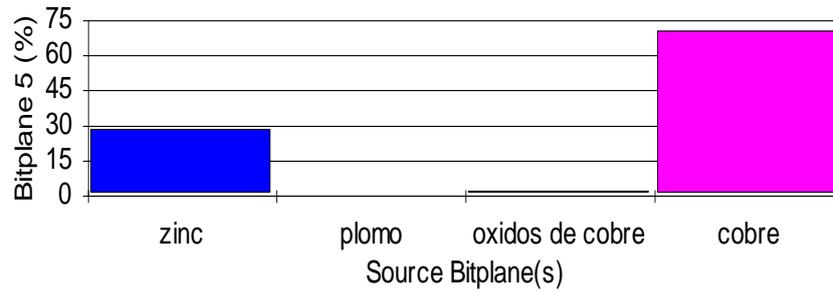


Figura 5.19 Porcentajes de constituyentes

S. Bitplane(s)	Bitplane 5 (%)
Zinc	27,9 (27,8)
Plomo	0,9 (0,7)
Óxidos de cobre	1,6 (1,3)
Cobre	69,9

## Tamaño de Grano

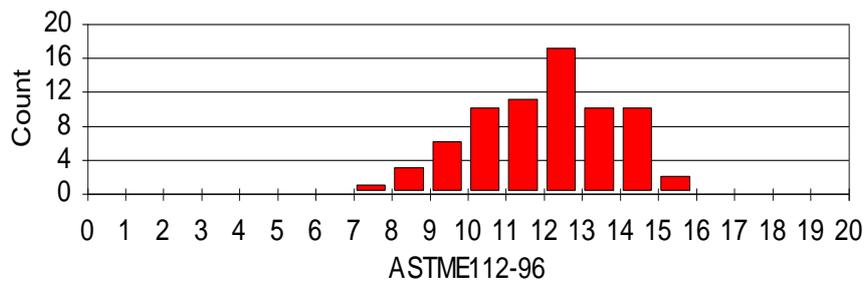


Figura 5.20 Gráfica de barras tamaño de grano

### Statistics

Minimum:	7,03
Maximum:	15,37
Rating #:	11,46
Count:	70
Total Area:	7548,0 $\mu\text{m}^2$

### 5.1.3 VALORACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS.

Para avalar los resultados prácticos con los teóricos realizados en el análisis de espesores de la empresa FRANZ VIEGNER se procederá a solicitar a la misma los valores de espesores que se suministren a las piezas para su elaboración.

Tabla 5.2 Comparación ente resultados de espesores

MEDICIÓN PROPUESTA	DATOS OBTENIDOS POR CLEMEX ( $\mu\text{m}$ )		DATOS PROPORCIONADOS POR FRANZ VIEGNER ( $\mu\text{m}$ )	
	Espesor de Cobre ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de Níquel ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de Cobre ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de Níquel ( $\mu\text{m}$ )
Laminilla con recubrimiento de cobre y níquel (Baquelita)	29,3	8,02	Dato no Elaborado	Dato no elaborado
	Espesor de Cobre ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de Níquel ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de Cobre ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de Níquel ( $\mu\text{m}$ )
Asa de Plástico con recubrimiento de Cobre y Níquel	9,48	2,24	9.1	2
	Espesor de Cobre y Níquel ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de Cromo ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de Cobre y Níquel ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de Cromo ( $\mu\text{m}$ )
Latón con recubrimiento	6,32	0,678	Dato no elaborado	Dato no elaborado

Fuente: Propia

### 5.1.4 CONCLUSIONES

Como se puede observar los datos proyectados por el Clemex son muy similares a los suministrados por la empresa Franz Viegner, por consiguiente, se concluye que el análisis expuesto por el programa es concisamente seguro.

## 5.2 ENSAYO METALOGRAFICO EN IDEAL ALAMBREC.

### 5.2.1 PRUEBA SOLICITADA

Las muestras de materiales presentados por la empresa son:

Tabla 5.3 Muestras Presentadas Por Ideal Alambrec

NUMERO DE MUESTRA	CODIGO	SAE	Ø (mm)	MATERIAL	PRUEBA SOLICITADA	ATAQUE QUIMICO
1	I-345301	10B06	5,5	Alambrón	Porcentaje de ferrita y perlita, Tamaño de gramo	Nital 3%
2	I-345434	1011HiMn	8,0	Alambrón	Porcentaje de ferrita y perlita, Tamaño de gramo	Nital 3%
3	I-481037	1015	5,5	Alambrón	Porcentaje de ferrita y perlita, Tamaño de gramo	Nital 3%
4	I-4842400	1006	5,5	Alambrón	Porcentaje de ferrita y perlita, Tamaño de gramo	Nital 3%
5	I-4830000	1006 M/Q	8,0	Alambrón	Porcentaje de ferrita y perlita, Tamaño de gramo	Nital 3%

Fuente: Propia

Se procede a realizar el análisis metalográfico, cuyos resultados se basan en las siguientes normas ASTM:

- ASTM E-3 Preparing of Metallographic Specimens.
- ASTM E-407 Method For Microetching Metals and Alloys.
- ASTM E-112 Test Methods For Determining Average Grain Size.

**Muestra I-345301**

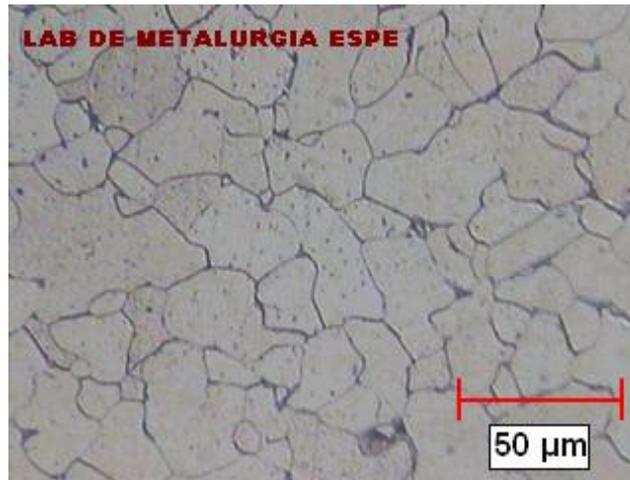


Figura 5.21 Imagen digitalizada, 200X

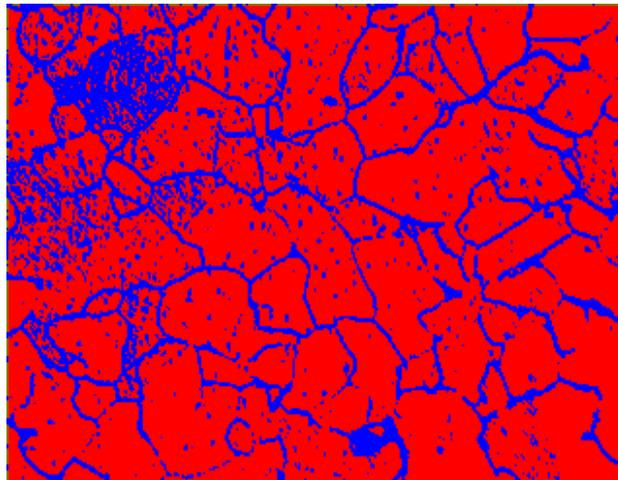


Figura 5.22 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita

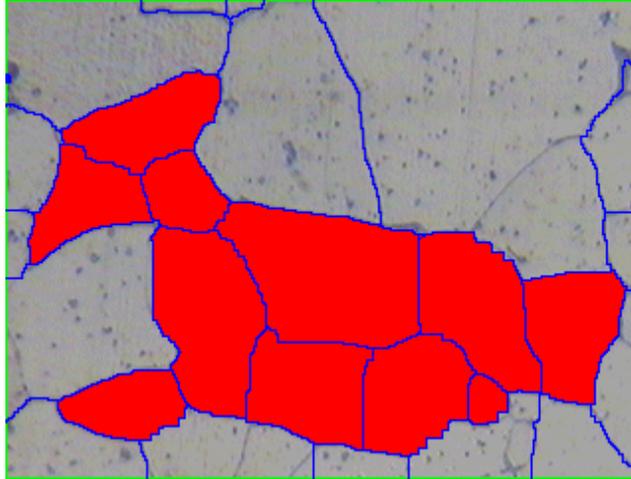


Figura 5.23 Imagen binarizada tamaño de grano, 400X

**Muestra I-345434**

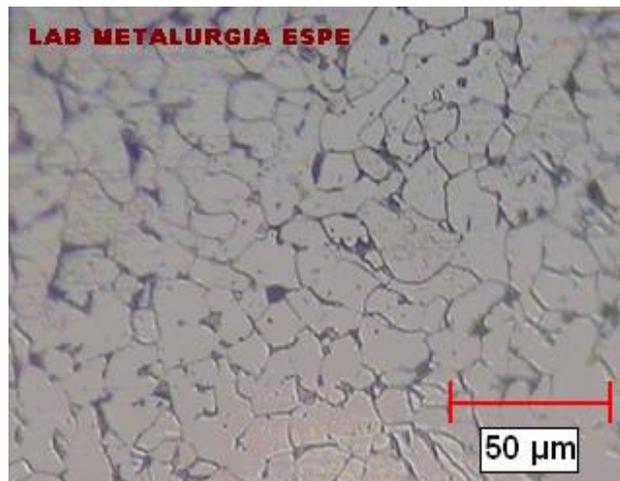


Figura 5.24 Imagen digitalizada, 200X

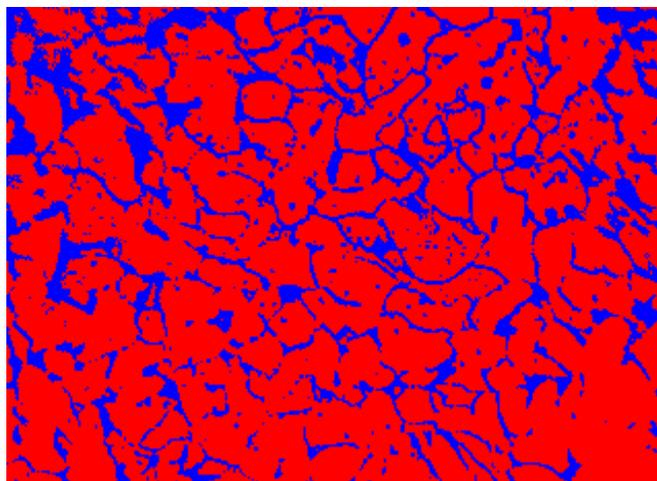


Figura 5.25 Imagen Binarizada Porcentaje De Ferrita y Perlita

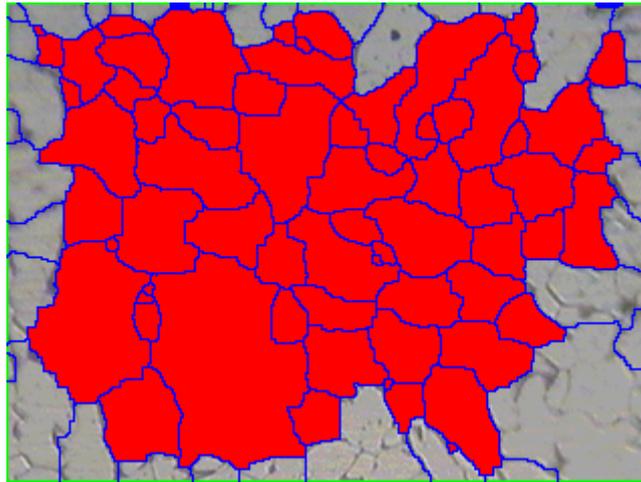


Figura 5.26 Imagen digitalizada tamaño de grano

**Muestra I-481037**

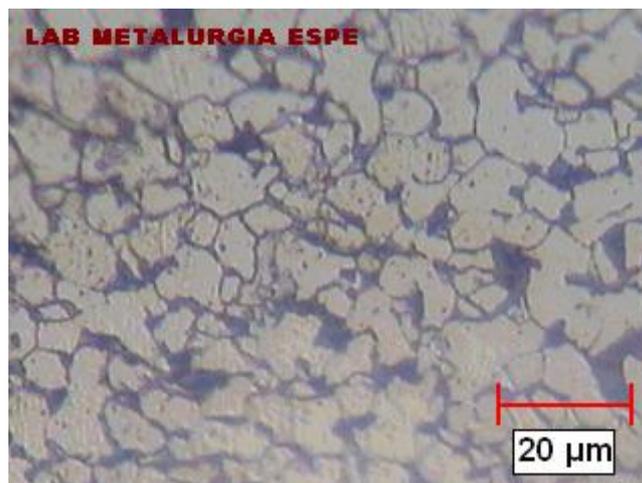


Figura 5.27 Imagen digitalizada, 400X

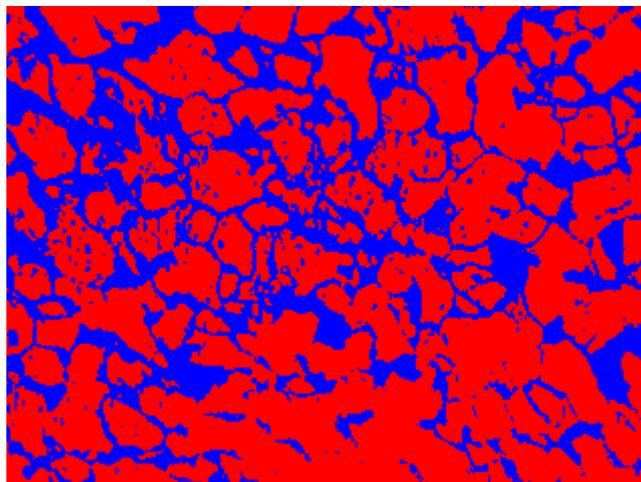


Figura 5.28 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita

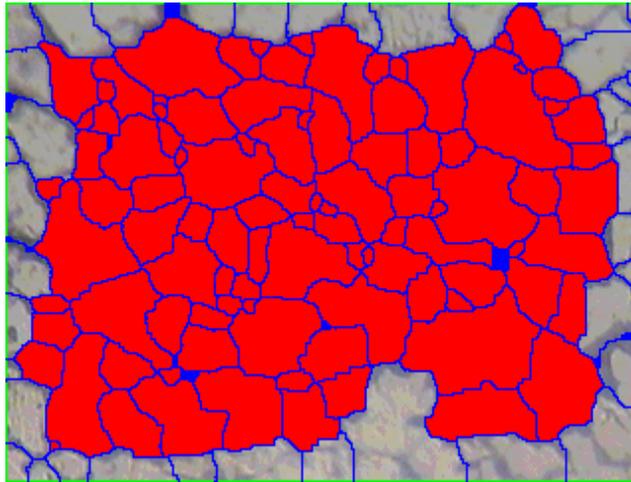


Figura 5.29 Imagen binarizada tamaño de grano latón

**Muestra I-4842400**

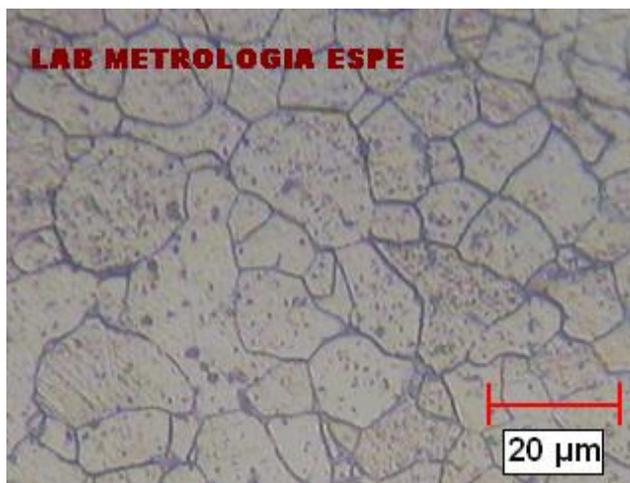


Figura 5.30 Imagen binarizada, 400X

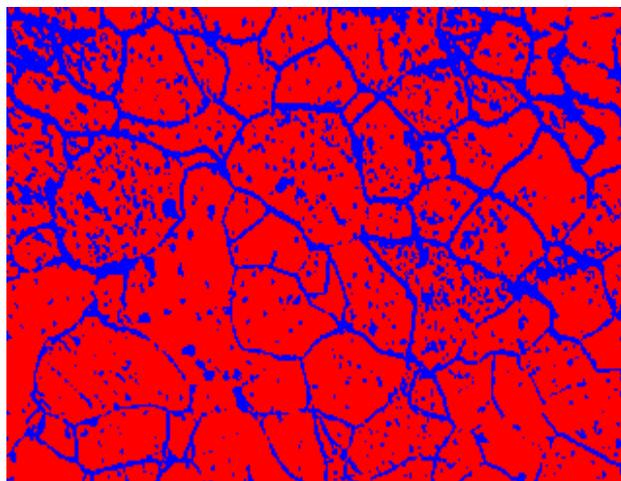


Figura 5.31 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita

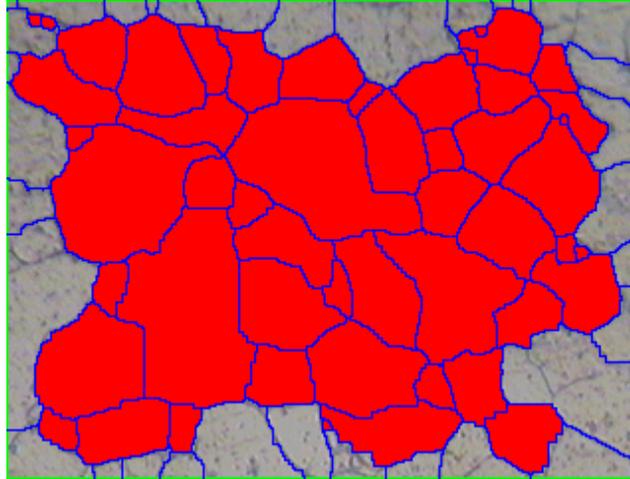


Figura 5.32 Imagen binarizada tamaño de grano

**Muestra I-4830000**

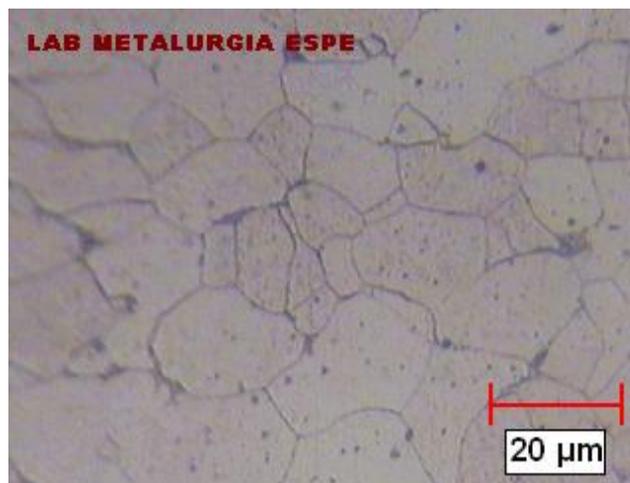


Figura 5.33 Figura digitalizada, 400x

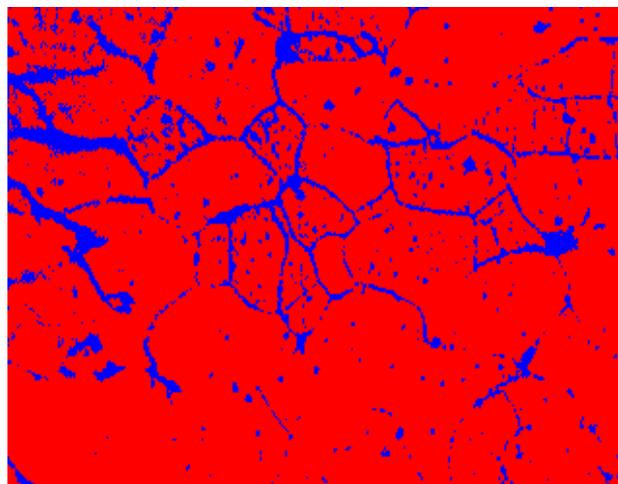


Figura 5.34 Imagen binarizada porcentaje de ferrita y perlita

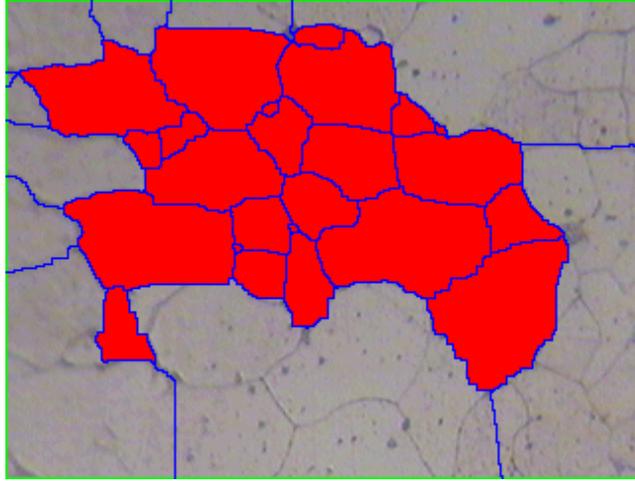


Figura 5.35 Imagen binarizada tamaño de grano

## 5.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Muestra I-345301

### Porcentajes De Constituyentes

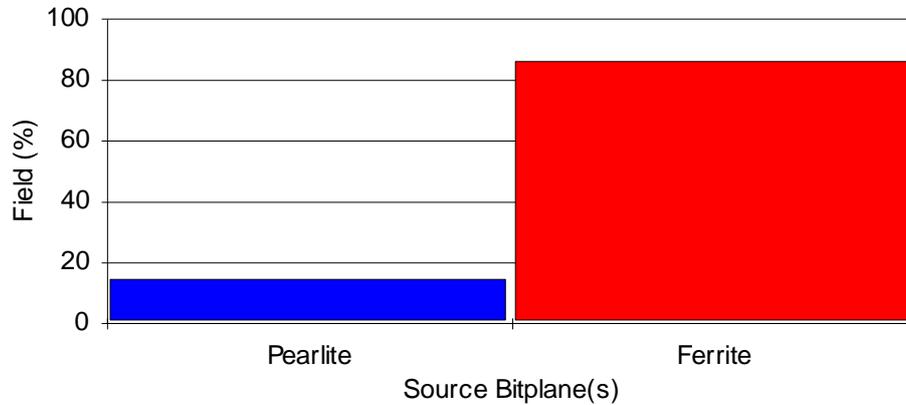


Figura 5.36 Porcentaje de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Pearlite	14,19
Ferrite	85,81

### Tamaño De Grano

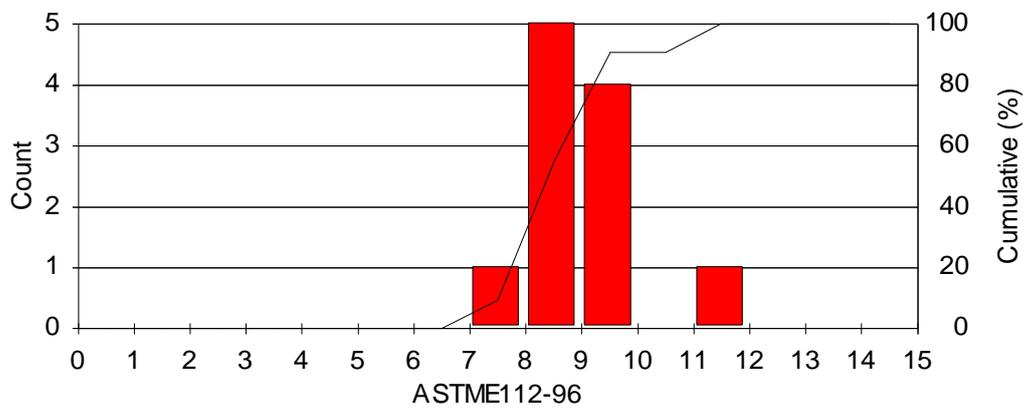


Figura 5.37 Gráfico de barras tamaño de grano

#### Statistics

Minimum:	7,88
Maximum:	11,58
Rating #:	9,05
Count:	11
Total Area:	7548,0 $\mu\text{m}^2$

## Muestra I-345434

### Porcentajes De Constituyentes

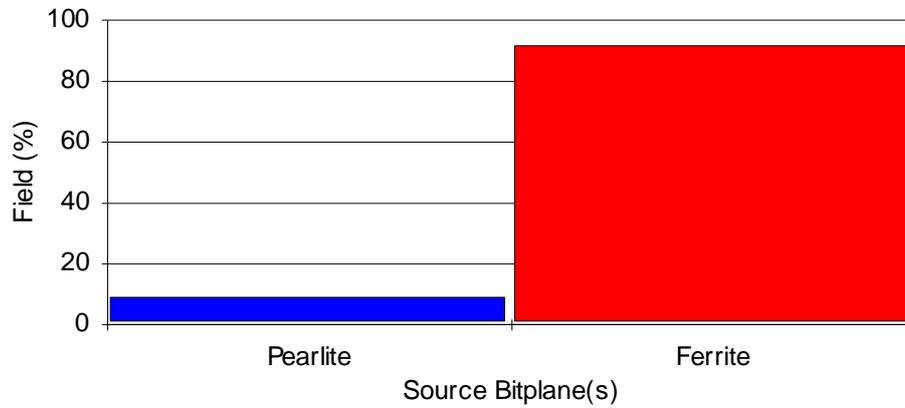


Figura 5.38 Porcentaje de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Pearlite	8,59
Ferrite	91,41

### Tamaño De Grano

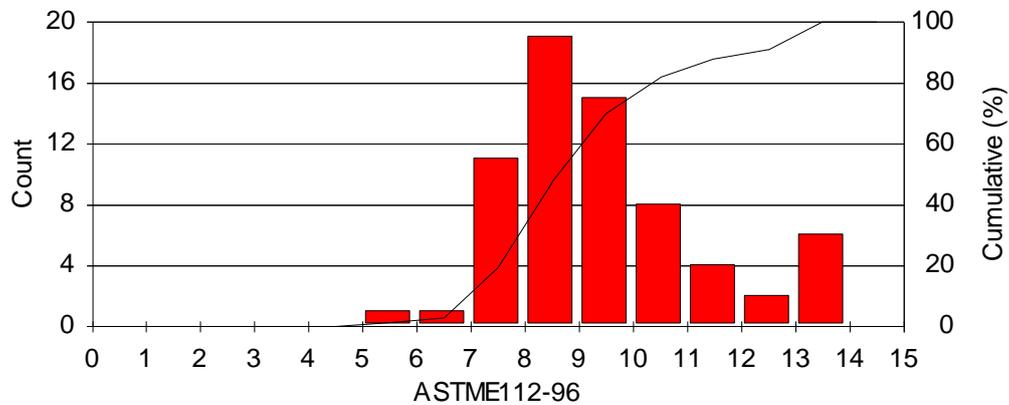


Figura 5.39 Gráfico de barras tamaño de grano

#### Statistics

Minimum:	5,71
Maximum:	13,86
Rating #:	9,03
Count:	67
Total Area:	30283,2 $\mu\text{m}^2$

**Muestra I-481037**

**Porcentajes De Constituyentes**

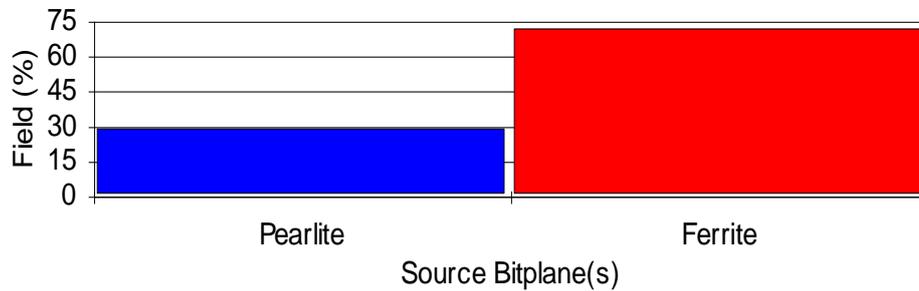


Figura 5.40 Porcentaje de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Pearlite	28,67
Ferrite	71,33

**Tamaño De Grano**

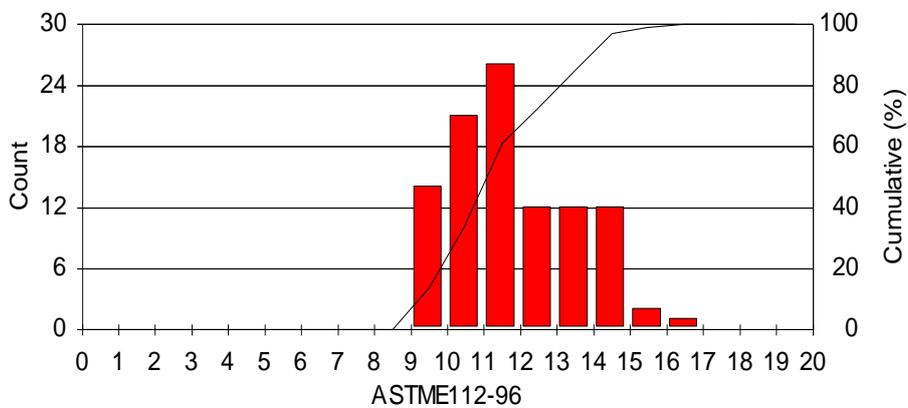


Figura 5.41 Gráfico de barras tamaño de grano

**Statistics**

Minimum:	9,05
Maximum:	16,00
Rating #:	11,50
Count:	100
Total Area:	7548,0 $\mu\text{m}^2$

**Muestra I-4842400**

**Porcentajes De Constituyentes**

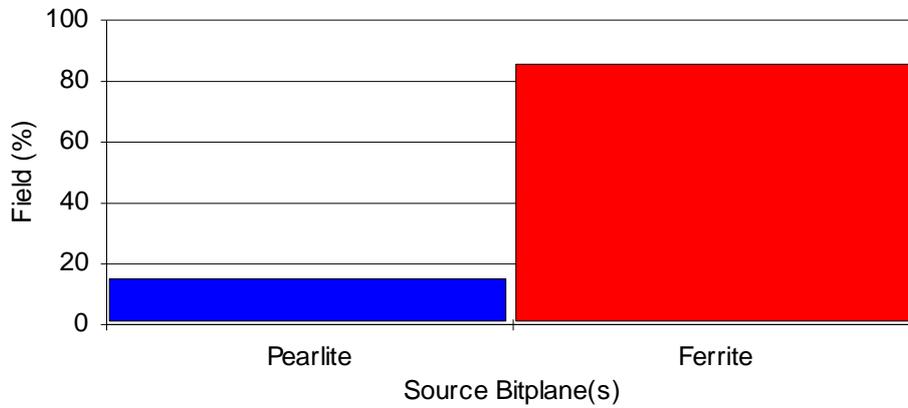


Figura 5.42 Porcentaje de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Pearlite	14,81
Ferrite	85,19

**Tamaño De Grano**

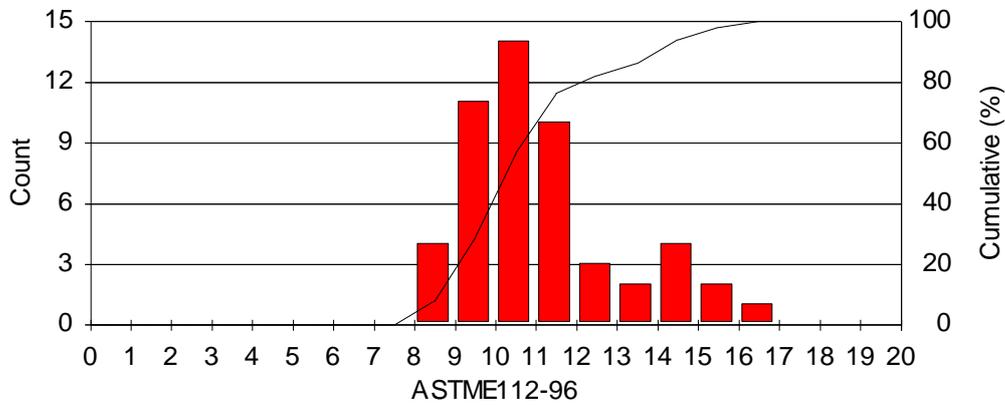


Figura 5.43 Gráfico de barras tamaño de grano

**Statistics**

Minimum:	8,05
Maximum:	16,00
Rating #:	10,61
Count:	52
Total Area:	7548,0 $\mu\text{m}^2$

**Muestra I-4830000**

**Porcentajes De Constituyentes**

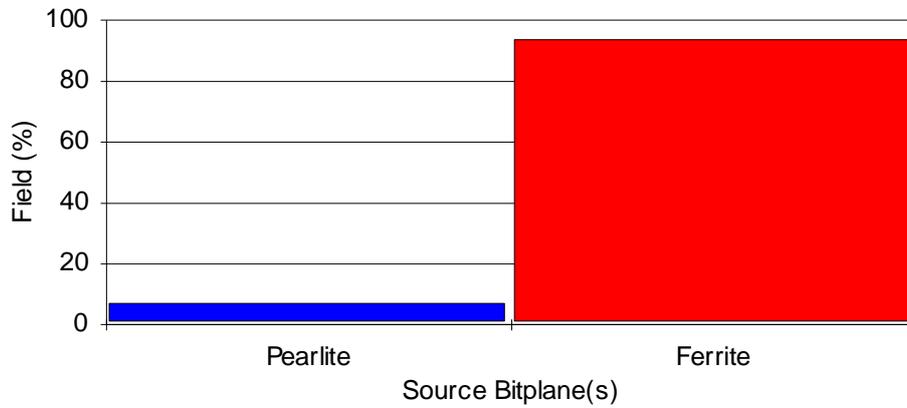


Figura 5.44 Porcentaje de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Pearlite	6,60
Ferrite	93,40

**Tamaño De Grano**

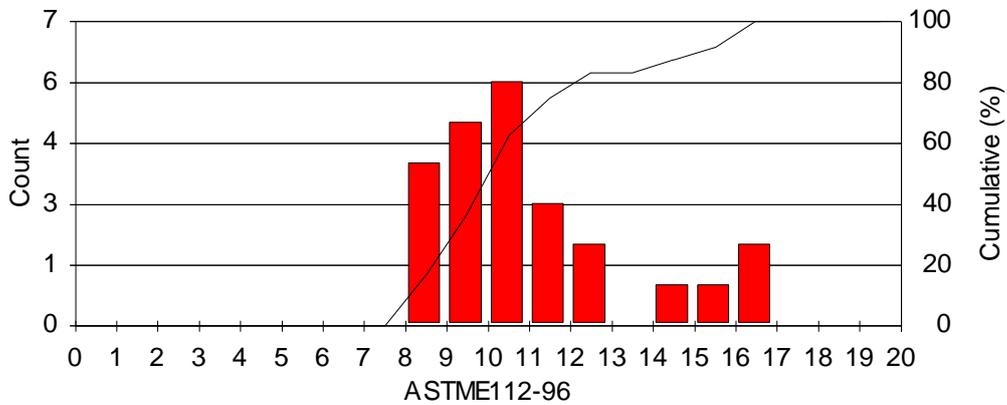


Figura 5.45 Gráfico de barras tamaño de grano

**Statistics**

Minimum:	8,57
Maximum:	16,24
Rating #:	10,42
Count:	24
Total Area:	7548,0 $\mu\text{m}^2$

### 5.2.3 VALORACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

Para la determinar el tamaño de grano teóricamente y valorizar los resultados con los obtenidos con el programa se pueden efectuar tres métodos diferentes como son:

1. Método de Comparación ASTM
2. Método de Intercepción
3. Método Planimétrico

Mediante el método planimétrico se obtuvo los siguientes resultados para los ensayos realizados anteriormente:

Ejemplo de Cálculos:

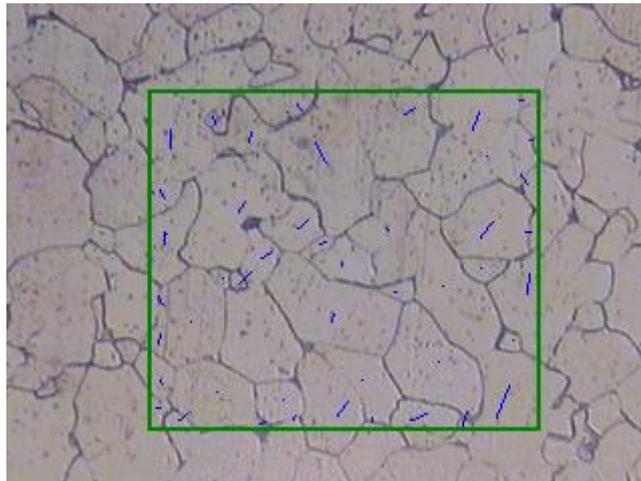


Figura 5.46 Conteo de granos

Número de granos enteros = 25

Número granos intersecados =  $\frac{17}{2} = 8.5$

Multiplicador de Jeffries =  $\frac{\text{ampliación}^2}{5000}$  (Ecuación 5.1)

Multiplicador de Jeffries para 200X = 8

$$33,5 \times 8 = 268$$

$$268 \text{ granos} \rightarrow 1 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ granos} \rightarrow x$$

$$x = 3.7313 \times 10^{-3}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

$$3.7313 \times 10^{-3} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = 6.89 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D = 7$$

Tabla 5.4 Comparación de datos Fuente: Propia

<b>CODIGO MUESTRA</b>	<b>PRUEBA SOLICITADA</b>	<b>DATOS CLEMEX</b>	<b>DATOS METODO PLANIMETRICO</b>
I-345301	Tamaño de grano	9	7
I-345434	Tamaño de grano	9	8.41
I-481037	Tamaño de grano	11.5	8.92
I-4842400	Tamaño de grano	10.61	8.92
I-4830000	Tamaño de grano	10.42	8.50

## 5.2.4 CONCLUSIONES

Como se observa la comparación entre datos teóricos y prácticos no difieren en considerable error por lo que se concluye que los datos expuestos por el Clemex son confiables y seguros en la elaboración del ensayo.

## 5.3 ENSAYO METALGRÁFICO EN FIGVAL

### 5.3.1 PRUEBA SOLICITADA

Tabla 5.5 Muestras presentadas por Figval

NUMERO DE MUESTRA	CÓDIGO	MATERIAL	PRUEBA SOLICITADA	ATAQUE
1	FIG1-barra	Fundición gris	Porcentaje de constituyentes Norma ASTM A 247	Sin ataque
2	FIG2-disco	Fundición gris	Porcentaje de constituyentes Norma ASTM A 247	Sin ataque

Fuente: Propia

Se procede a realizar el análisis metalográfico, cuyos resultados se basan en las siguientes normas ASTM:

- ASTM E-3 Preparing of Metallographic Specimens.
- ASTM E-407 Method For Microetching Metals and Alloys.
- ASTM E-112 Test Methods For Determining Average Grain Size.
- ASTM A-247 Evaluating The Microstructure Of Graphite In Iron Castings.

Para este fin se utilizara el programa CLEMEX VISION EDITION PROFESSIONAL implementado en el laboratorio de metalografía de la ESPE.

### Muestra FIG1-barra

### Porcentaje de constituyentes

Norma ASTM A 247

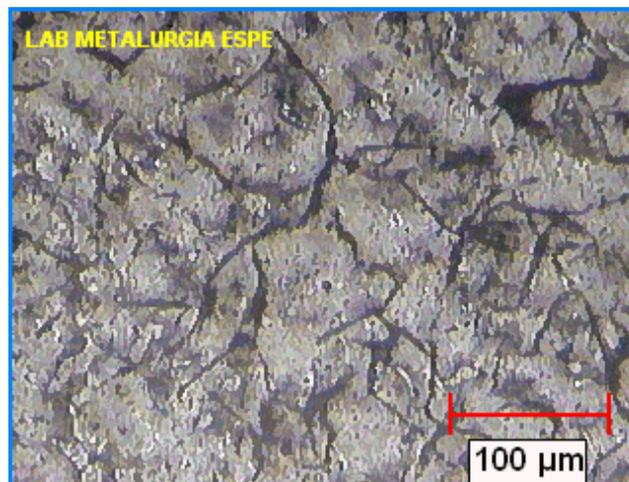


Figura 5.47 Imagen digitalizada, 100 X

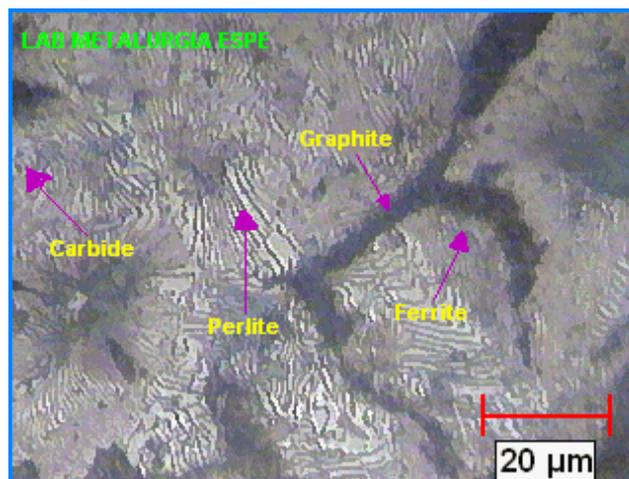


Figura 5.48 Imagen digitalizada, 400 X

## Muestra FIG2-disco

## Porcentaje de constituyentes

Norma ASTM A 247

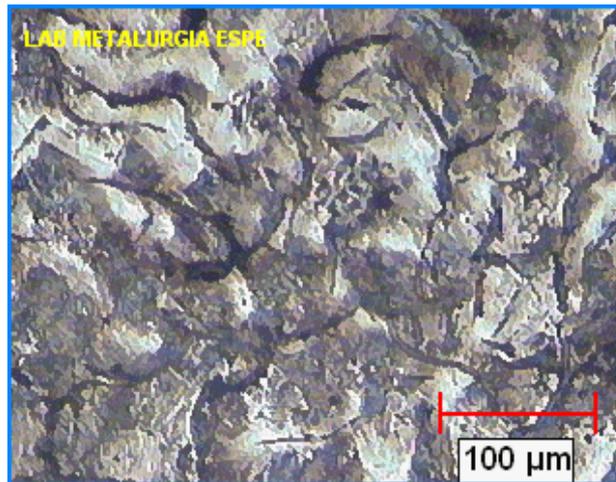


Figura 5.49 Imagen digitalizada, 100 X

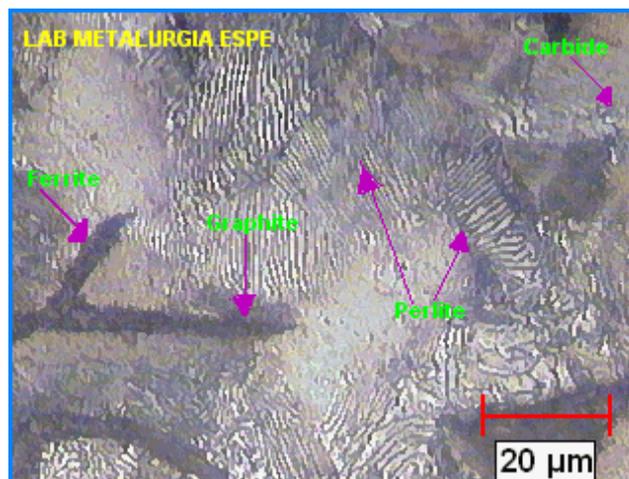


Figura 5.50 Imagen digitalizada, 400 X

### 5.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### Muestra FIG1-barra

Porcentaje de constituyentes

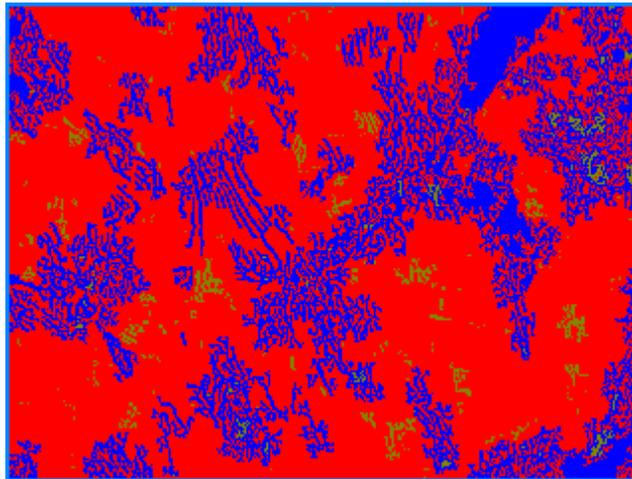


Figura 5.51 Imagen Binarizada, 400x

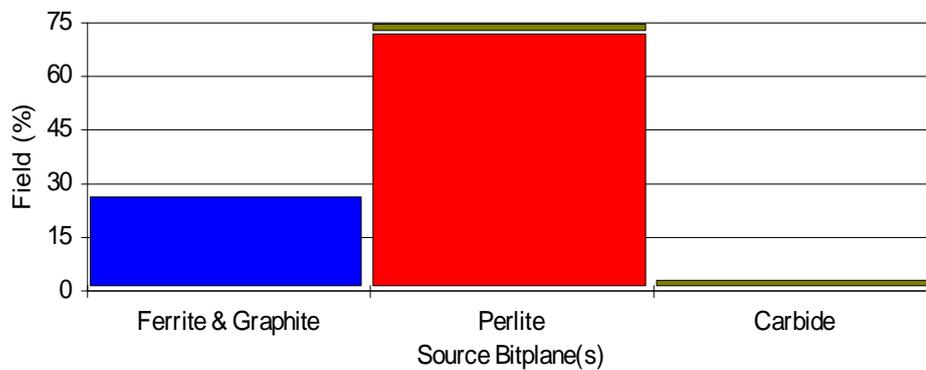


Figura 5.52 Porcentaje de Constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Ferrite & Graphite	23,2
Perlite	74,1
Carbide	2,7

Statistics	GRAPHITE LENGHT	
Minimum:	0,5	μm
Maximum:	1408,8	μm
Mean:	37,8	μm
Field Area:	1015537,2	μm <sup>2</sup>
Total Area:	1015537,2	μm <sup>2</sup>

Según la norma ASTM A 247 se obtiene los siguientes resultados:

- Fundición gris tipo: VII
- Forma del grafito: Flóculos-Laminar
- Distribución del grafito: A
- Tamaño del grafito: 6
- Matriz de fundición: Perlítica con un porcentaje de 88% aprox.
- Longitud promedio del grafito: 4 mm (porcentaje de grafito en la matriz 18 % aprox

En la probeta (**FIG1**) proporcionada por FIGVAL se encontró grafito eutectoide de clase **VII A 6**.

## Muestra FIG2-disco

Porcentaje de constituyentes

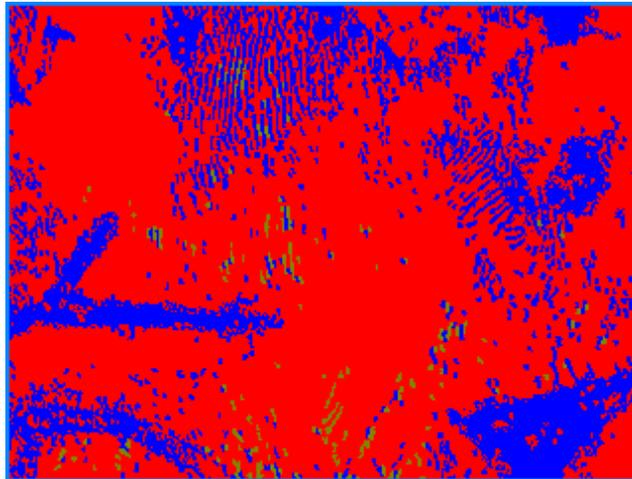


Figura 5.53 Imagen Binarizada, 400X

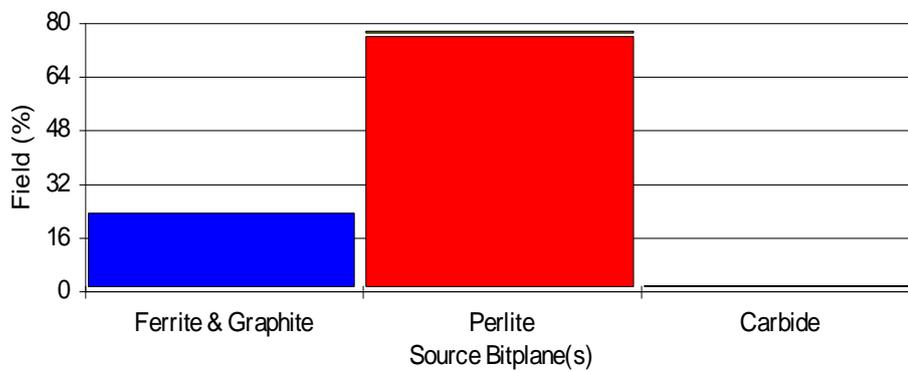


Figura 5.54 Porcentaje de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Ferrite & Graphite	21,3
Perlite	77,1
Carbide	1,6

Statistics	GRAPHITE LENGHT	
Minimum:	0,5	µm
Maximum:	2841,4	µm
Mean:	71,9	µm
Field Area:	1015537,2	µm <sup>2</sup>
Total Area:	1015537,2	µm <sup>2</sup>

Según la norma ASTM A 247 se obtiene los siguientes resultados:

- Fundición gris tipo: VII
- Forma del grafito: Flóculos-Laminar
- Distribución del grafito: A
- Tamaño del grafito: 5

Matriz de fundición: Perlítica con un porcentaje de 90% aprox.

- Longitud promedio del grafito 10 mm (porcentaje de grafito en la matriz 17% aprox)

En la probeta (**FIG2-disco**) proporcionada por FIGVAL se encontró grafito eutectoide con un **VII A 5**.

### 5.3.3 VALORACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

Tabla 5.6 Comparación de resultados

CÓDIGO MUESTRA	PRUEBA SOLICITADA	DATOS CLEMEX PE			DATOS EMPRESA
		Ferrita y Grafito	Perlita	Carbueros	
FIG1-barra	Porcentaje de constituyentes	23,2	74,1	2,7	Datos no elaborados
		VII A 6			
	Norma ASTM A 247				
FIG2-disco	Porcentaje de constituyentes	21,3	77,1	1,6	Datos no elaborados
		VII A 5			
	Norma ASTM A 247				

Fuente: Propia

### 5.3.4 CONCLUSIONES

- Una vez efectuado el análisis en las probetas se concluye que estamos frente a una fundición gris del tipo VII y una distribución A, lo que confieren excelentes propiedades mecánicas a este tipo de fundiciones.
- Según la norma ASTM E-407 se encontró hojuelas de grafito laminar con una longitud promedio de 8 mm.

## 5.4 ENSAYO METALOGRAFICO EN FUNDICIONES Y MAQUINARIAS FUNYMAQ

### 5.4.1 PRUEBA SOLICITADA

Tabla 5.7 Muestras solicitadas por Funymaq

NUMERO DE MUESTRA	CODIGO	MATERIAL	PRUEBA SOLICITADA	ATAQUE
1	FUNY1	Fundición gris	Porcentaje de constituyentes Normas ASTM A 247	Sin ataque

Fuente: Propia

Se procede a realizar el análisis metalográfico, cuyos resultados se basan en las siguientes normas ASTM:

- ASTM E-3 Preparing of Metallographic Specimens.
- ASTM E-407 Method For Microetching Metals and Alloys.
- ASTM E-112 Test Methods For Determining Average Grain Size.
- ASTM A-247 Evaluating The Microstructure Of Graphite In Iron Castings.

Muestra FUNY1

Porcentaje de constituyentes

Normas ASTM A 247

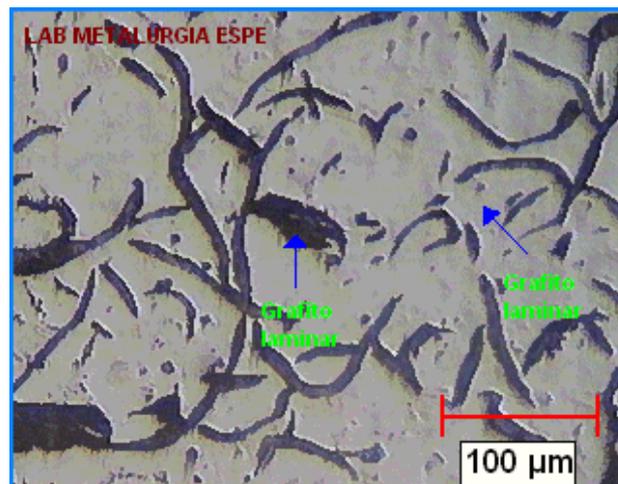


Figura 5.55 Imagen Digitalizada, 100x

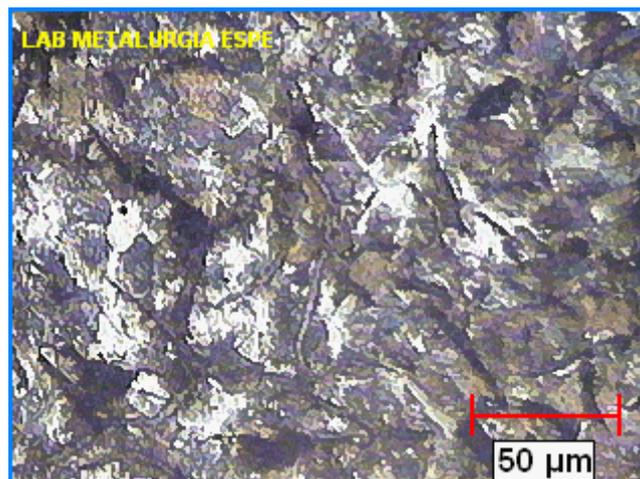


Figura 5.56 Imagen digitalizada, 200x

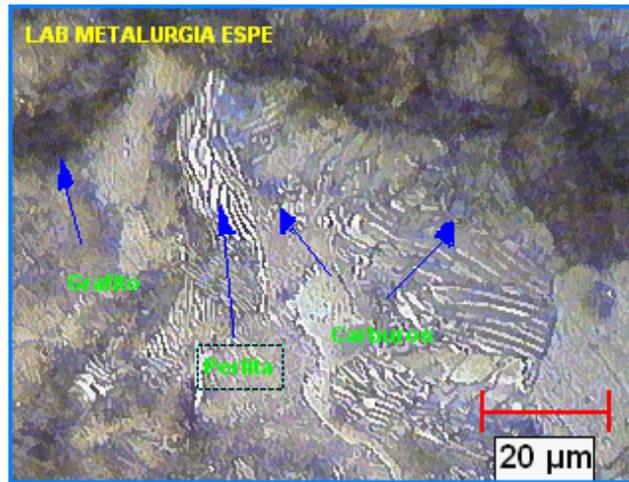


Figura 5.57 Imagen digitalizada, 400 X

## 5.4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Muestra FUNY1

Porcentajes de constituyentes

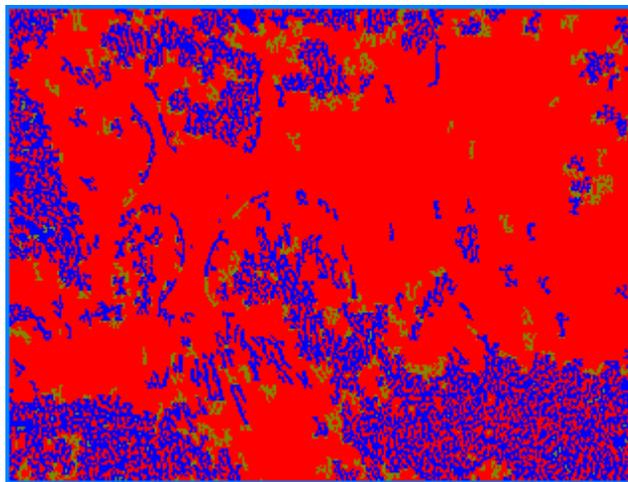


Figura 5.58 Imagen Binarizada, 400x

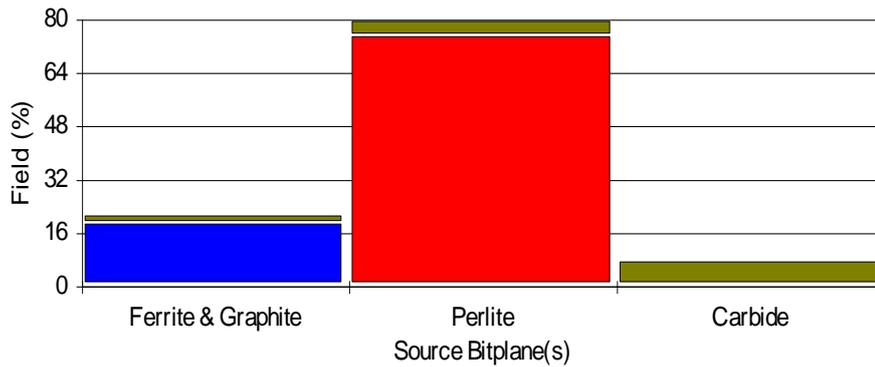


Figura 5.59 Porcentaje de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Perlite	76.3
Ferrite & Graphite	19.4
Carbide	4.3

Statistics	GRAPHITE LENGHT	
Minimum:	0,5	µm
Maximum:	3882,2	µm
Mean:	82,1	µm

Según la norma ASTM A 247 se obtiene los siguientes resultados:

- Fundición gris tipo: VII
- Forma del grafito: Flóculos-Laminar
- Distribución del grafito: A
- Tamaño del grafito: 5
- Matriz de fundición: Perlítica con un porcentaje de 82% aprox.

En la probeta proporcionada por FUNYMAQ se encontró grafito eutectoide de clase **VII A 5**.

### 5.4.3 VALORACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

Tabla 5.8 Comparación de Resultados

CÓDIGO MUESTRA	PRUEBA SOLICITADA	DATOS CLEMEX PE			DATOS EMPRESA
		Ferrita y Grafito	Perlita	Carbueros	
FUNY1	Porcentaje de constituyentes	76,3	19,4	4,3	Datos no elaborados
	Normas ASTM A 247	VII A 5.			Datos no elaborados

### 5.4.4 CONCLUSIONES

Una vez efectuado el análisis en la probeta se concluye que estamos frente a una fundición gris del tipo VII y una distribución A, lo que confieren excelentes propiedades mecánicas a este tipo de fundiciones.

Según la norma ASTM E-407 se encontró hojuelas de grafito laminar con una longitud promedio de 10 mm.

## 5.5 ENSAYO METALOGRAFICO EN FUNDICIONES JUAN CARLOS RECALDE

### 5.5.1 PRUEBA SOLICITADA

Tabla 5.9 Muestras presentadas por Fundiciones Juan Carlos Recalde

NUMERO DE MUESTRA	CÓDIGO	MATERIAL	PRUEBA SOLICITADA	ATAQUE
1	JCRC	a) Fundición blanca	Porcentaje de constituyentes	Nital 3%
		b) Fundición atruchada	Porcentaje de constituyentes Porcentaje de silicio	Nital 3%
		c) Fundición perlítica	Porcentaje de constituyentes Tamaño del grafito ASTM A 247	Sin ataque
		d) Fundición gris ordinaria	Porcentaje de constituyentes Tamaño del grafito ASTM A 247	Sin ataque
		e) Fundición ferrítica	Porcentaje de constituyentes Tamaño del grafito ASTM A 247	Sin ataque

Fuente: Propia

Tabla 5.9 Muestras presentadas por Fundiciones Juan Carlos Recalde  
(Continuación)

NUMERO DE MUESTRA	CÓDIGO	MATERIAL	PRUEBA SOLICITADA	ATAQUE
2	JCRA	Fundición dúctil o esferoidal	Porcentaje de constituyentes Análisis de nodularidad ASTM A 247	Sin ataque
3	JCRF	Fundición dúctil o esferoidal	Porcentaje de constituyentes Análisis de nodularidad ASTM A 247	Sin ataque
4	JCRG	Fundición dúctil o esferoidal	Porcentaje de constituyentes Análisis de nodularidad ASTM A 247	Sin ataque
5	AL 1	Aluminio	Análisis de porosidad	90 ml H <sub>2</sub> O 10 ml H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
6	B1	Bronce	Porcentaje de constituyentes Area de constituyentes	2 gr K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 8 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 100 ml H <sub>2</sub> O.

Fuente: Propia

Se procede a realizar el análisis metalográfico, cuyos resultados se basan en las siguientes normas ASTM:

ASTM E-3 Preparing of Metallographic Specimens.

ASTM E-407 Method For Microetching Metals and Alloys.

ASTM E-112 Test Methods For Determining Average Grain Size.

ASTM A-247 Evaluating The Microstructure Of Graphite In Iron Castings.

**Muestra JCRC: Probeta triangular de 28 mm de longitud.**

**Porcentaje de constituyentes**

Tamaño del grafito

ASTM A 247

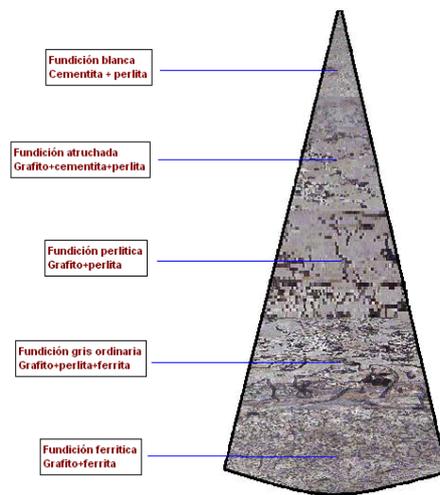


Figura 5.60 Probeta cuneiforme

Se obtuvo varias imágenes de la probeta cuneiforme a distintas distancias de toda la longitud debido a la presencia de diferentes fundiciones.

## Fundición blanca

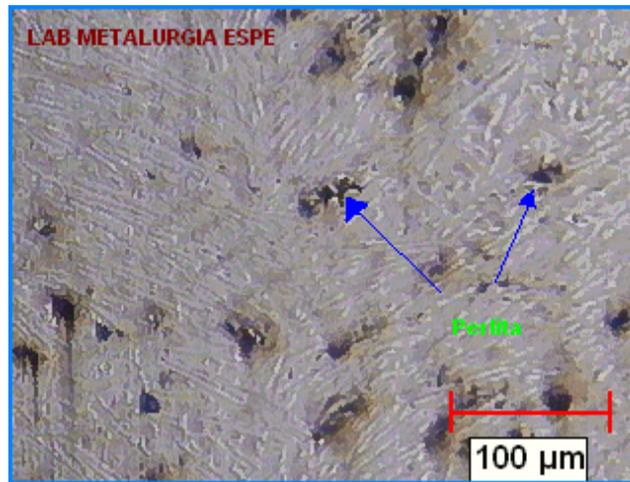


Figura 5.61 Obtenida en la punta de la probeta, 100 X



Figura 5.62 Obtenida en la punta de la probeta, 400 X



Figura 5.63 Obtenida a 2mm de la Punta, 200x

En la figura que se encuentra a continuación se muestra la imagen obtenida a 7 mm de la punta de la probeta en análisis, como se puede apreciar existe la presencia de fundición atruchada, la que posee una estructura intermedia entre la fundición blanca y gris, la cual presenta una fractura cristalina con grupos de manchas oscuras debido a la presencia del grafito.

En esta etapa de pruebas realizadas a la probeta Cuneiforme, es necesario realizar un análisis complementario en el cual se definirá el porcentaje de silicio contenido en la probeta.

### Fundición atruchada

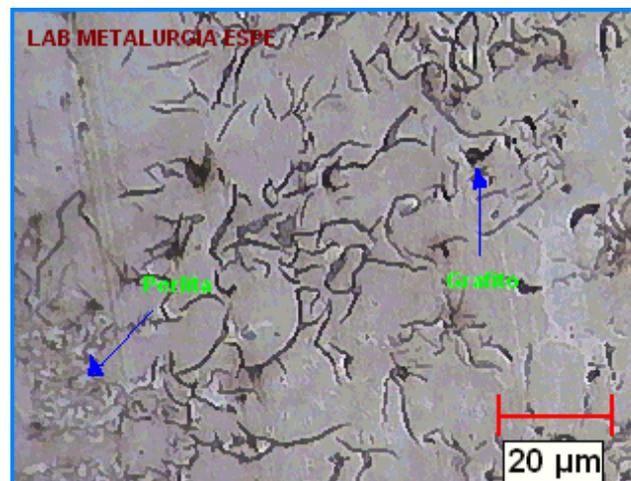


Figura 5.64 Obtenida a 7 mm de la punta, 200 X

### Fundición perlítica

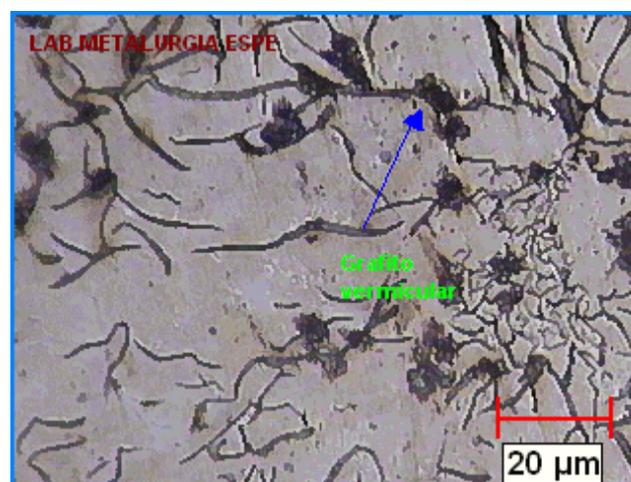


Figura 5.65 Obtenida a 14 mm de la punta, 200 X.

## Fundición gris corriente

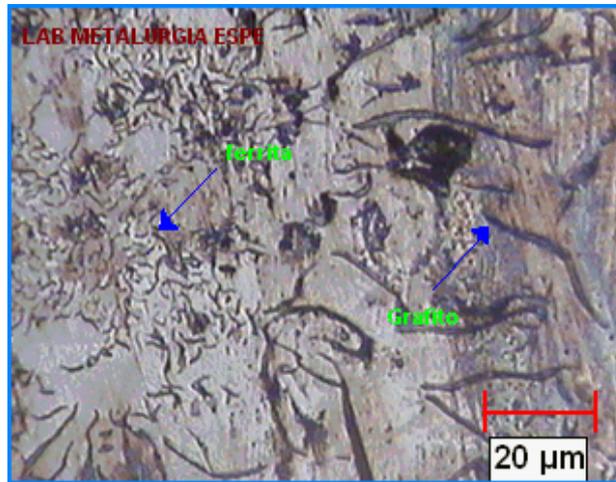


Figura 5.66 Obtenida a 20 mm de la punta, 200 X.

## Fundición ferrítica



Figura 5.67 Obtenida a 23 mm de la punta, 100 X

## Muestra JCRA : Fundición dúctil o nodular

### Porcentaje de constituyentes

Análisis de nodularidad

ASTM A 247

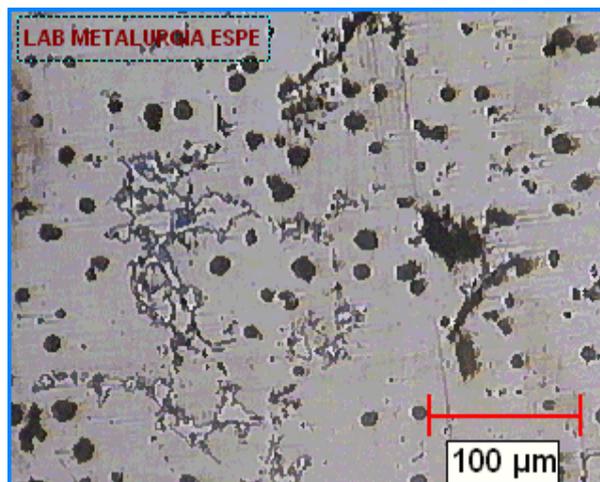


Figura 5.68 Fundición nodular, 100 X

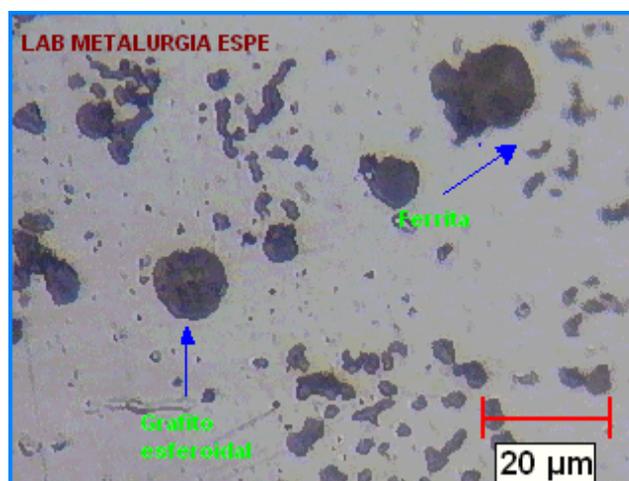


Figura 5.69 Fundición nodular, 400 X

## Muestra JCRF: Fundición dúctil o nodular

### Porcentaje de constituyentes

Análisis de nodularidad

ASTM A 247

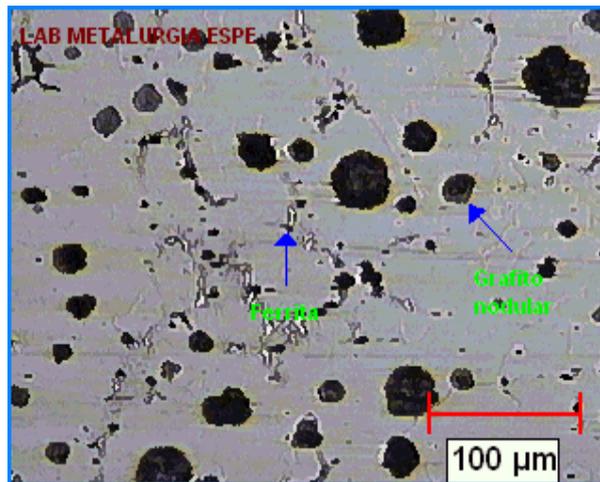


Figura 5.70 Fundición nodular, 100 X

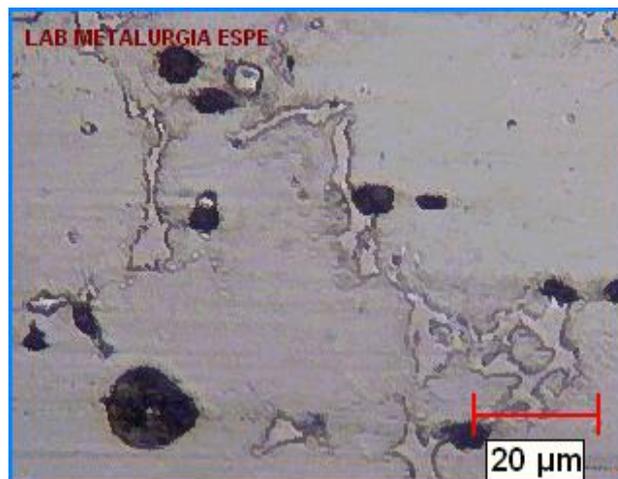


Figura 5.71 Fundición nodular, 400 X

## Muestra JCRG: Fundición dúctil o nodular

### Porcentaje de constituyentes

Análisis de nodularidad

ASTM A 247

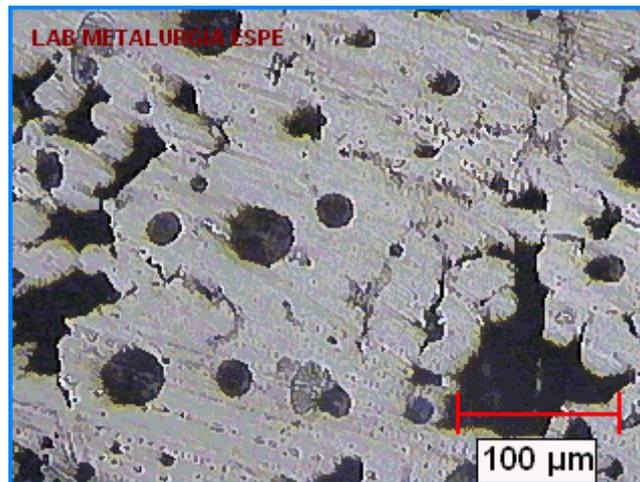


Figura 5.72 Fundición nodular, 100 X

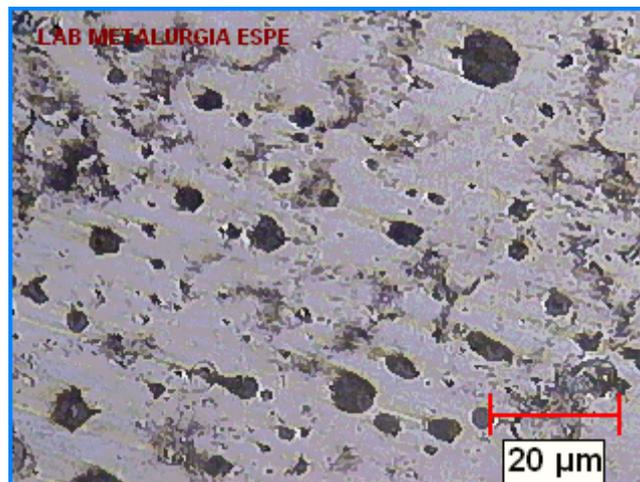


Figura 5.73 Fundición nodular, 400 X

## Muestra AL 1: Aluminio

Porcentaje de porosidad

Cantidades relativas de porosidad esférica y de contracción

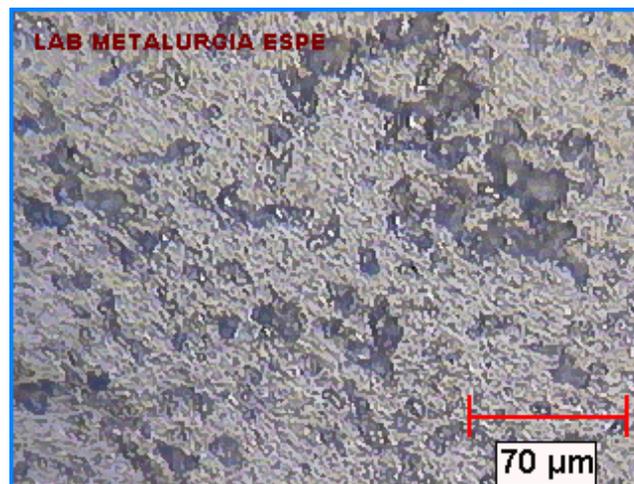


Figura 5.74 Imagen digitalizada Aluminio, 200 X

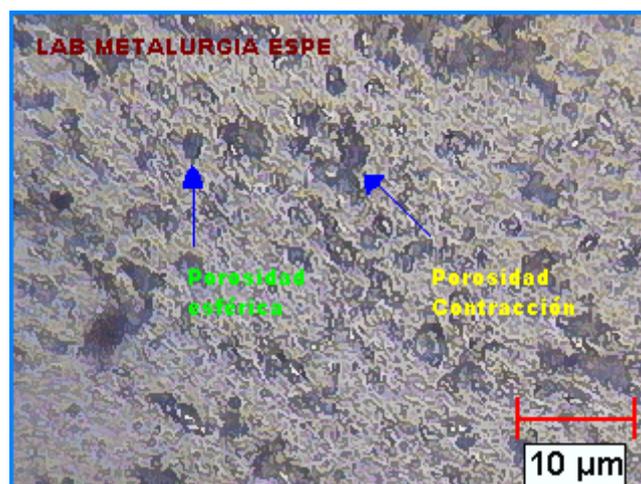


Figura 5.75 Imagen digitalizada Aluminio, 200 X

## Muestra B 1: Latón

Área de constituyentes

Porcentaje de constituyentes



Figura 5.76 Imagen digitalizada Latón, 200 X

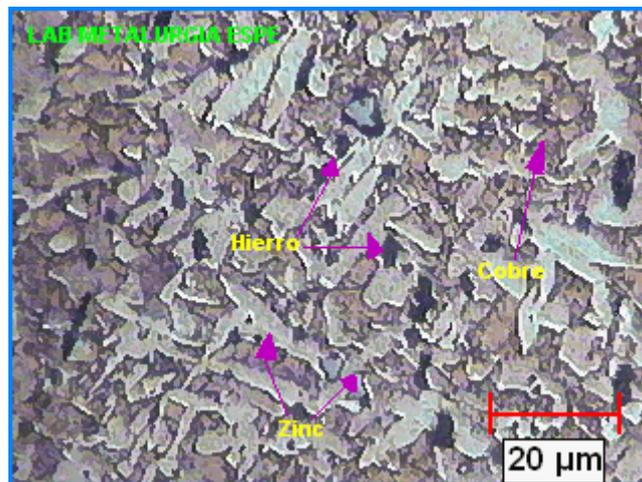


Figura 5.77 Imagen digitalizada Latón, 400 X

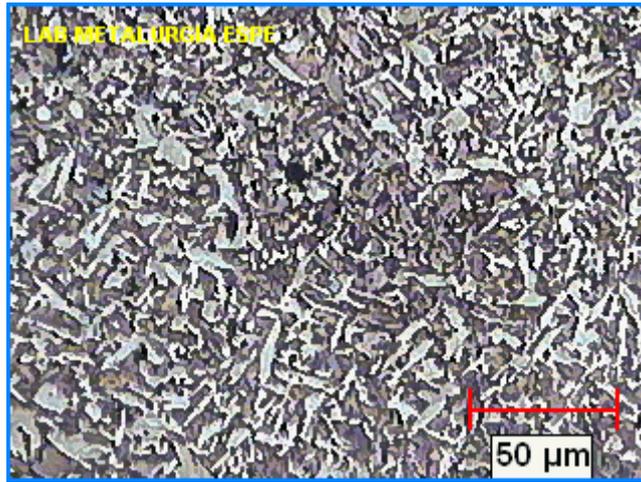


Figura 5.78 Imagen digitalizada Latón, 200 X

## 5.5.2 ANALISIS DE RESULTADOS.

Muestra JCRC: Fundición Blanca (En la punta de la probeta cuneiforme)

Porcentaje de constituyentes

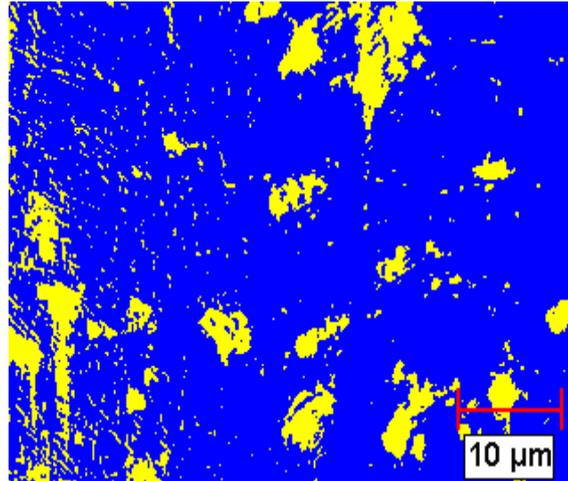


Figura 5.79 Imagen Binarizada, 100X

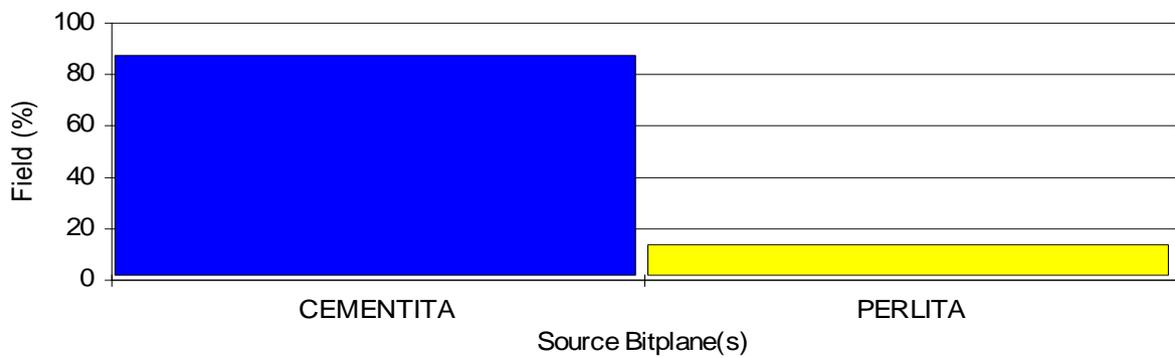


Figura 5.80 Porcentajes de constituyentes.

S.BITPLANE	Field (%)
CEMENTITA	86,84
PERLITA	13,16

**Muestra JCRC: Fundición Blanca (a 2 mm la punta de la probeta cuneiforme)**

**Porcentajes de constituyentes**

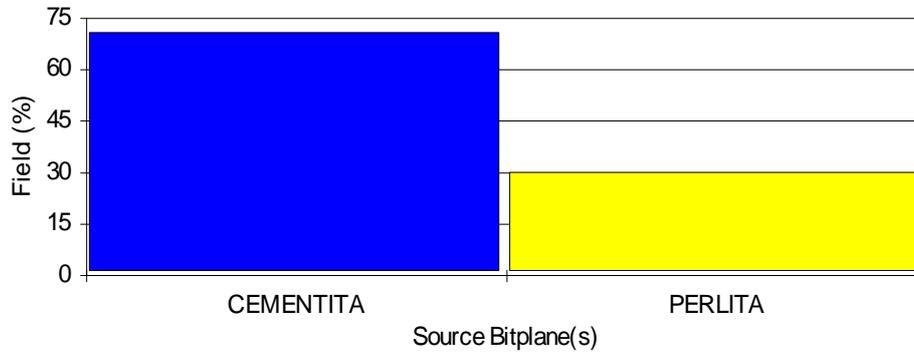


Figura 5.81 Porcentajes de Constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
CEMENTITA	70,29
PERLITA	29,71

En el punto analizado que se encuentra a 2 mm de la punta podemos darnos cuenta que el porcentaje de perlita va en aumento, esto se debe a que la velocidad de enfriamiento no es tan rápida como en la punta de la probeta cuneiforme.

**Muestra JCRC: Fundición Atruchada (a 7 mm la punta de la probeta cuneiforme)**

**Porcentajes de constituyentes**

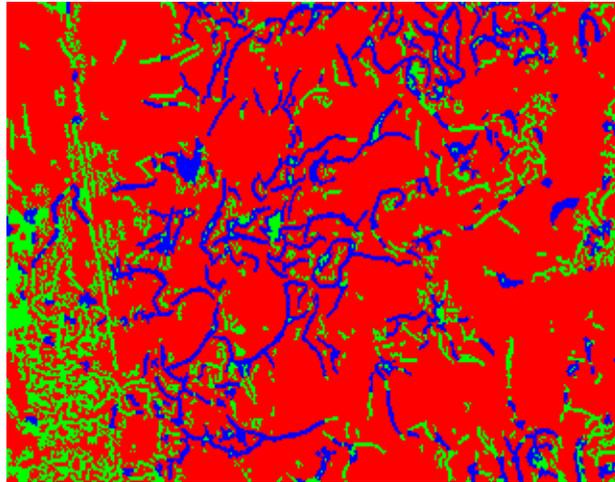


Figura 5.82 Imagen binarizada, 100X

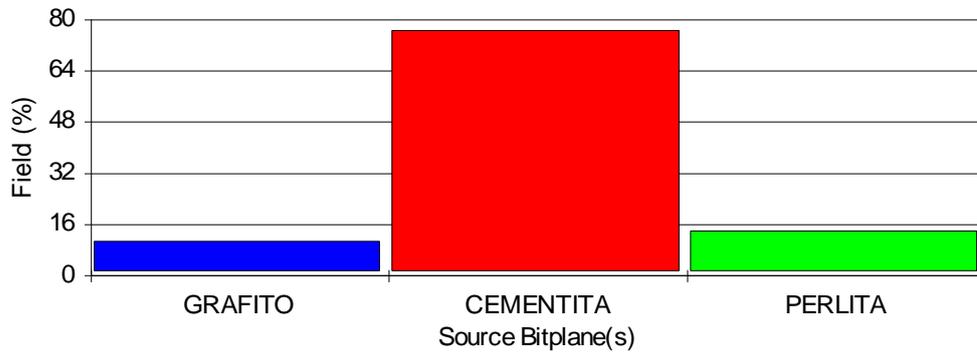


Figura 5.83 Porcentajes de constituyentes.

S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	10,4
CEMENTITA	76,1
PERLITA	13,5

Para la medición del porcentaje contenido de silicio en la probeta cuneiforme se ubica en el límite o transformación de la fundición atruchada a la fundición gris, se puede medir el espesor del temple lo cual permite deducir el contenido de silicio de la siguiente tabla:

## Probeta triangular

Tabla 5.10 Porcentajes de Silicio.

<b>TEMPLE</b> <b>mm</b>	<b>Silicio</b> <b>%</b>
20	1.15
17.5	1.24
15	1.34
12.5	1.50
10	1.73
7.5	2.04
5.2	2.30

Fuente: Tecnología de la Fundición “Eduardo Capello” Pág. 221

Una vez analizada la pieza se pudo determinar que aproximadamente el espesor del temple es de 5 mm a una altura de 7 mm desde la punta de la probeta lo que nos da como resultado un porcentaje de entre 2 – 2.30 % de contenido de silicio.

Siguiendo en el proceso de análisis en diferentes puntos de la probeta cuneiforme, nos encontramos en presencia de otro tipo de fundición debido a la velocidad de enfriamiento y al espesor de la misma. En esta parte del ensayo se evidencia la presencia de diferentes tipos de fundiciones grises.

**Muestra JCRC: Fundición Perlítica (a 14 mm la punta de la probeta cuneiforme)**

**Porcentajes de constituyentes**

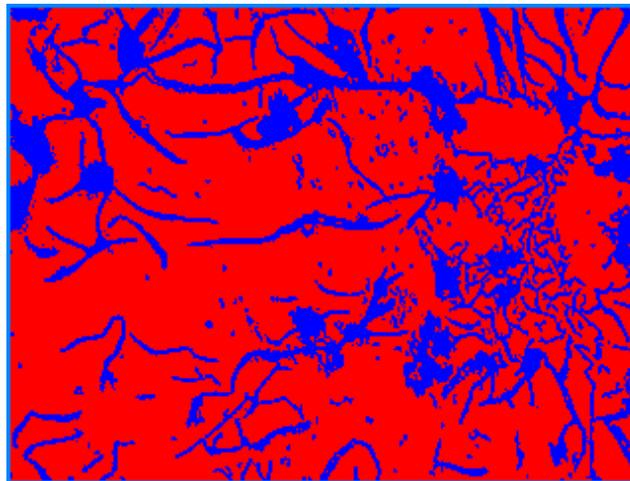


Figura 5.84 Imagen Binarizada, 100 X

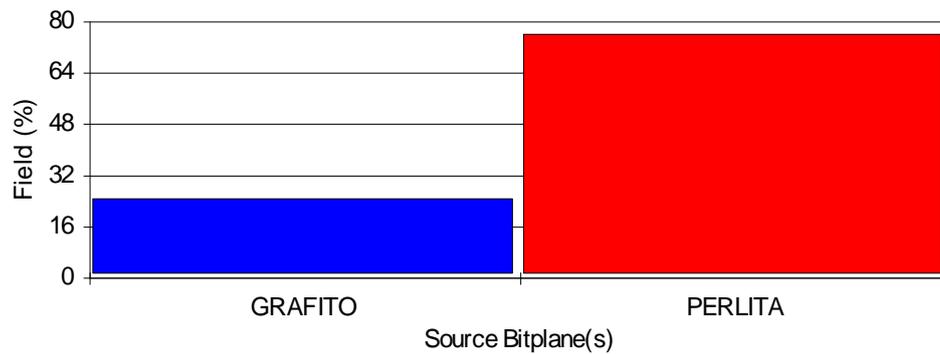


Figura 5.85 Porcentajes de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	24,4
PERLITA	75,6

Statistics	GRAPHITE LENGHT	
Minimum:	0,2	µm
Maximum:	5632,3	µm
Mean:	42,4	µm

Según la norma ASTM A 247 se obtiene los siguientes resultados:

Fundición gris tipo: V  
Forma del grafito: Vermicular  
Distribución del grafito: B-C  
Tamaño del grafito: 5  
Matriz de fundición: Perlítica con un porcentaje de 77% aproximadamente.  
Longitud promedio de hojuelas de grafito: 8.4 mm.

**Muestra JCRC: Fundición Gris Corriente (a 20 mm la punta de la probeta cuneiforme)**

### Porcentajes de constituyentes

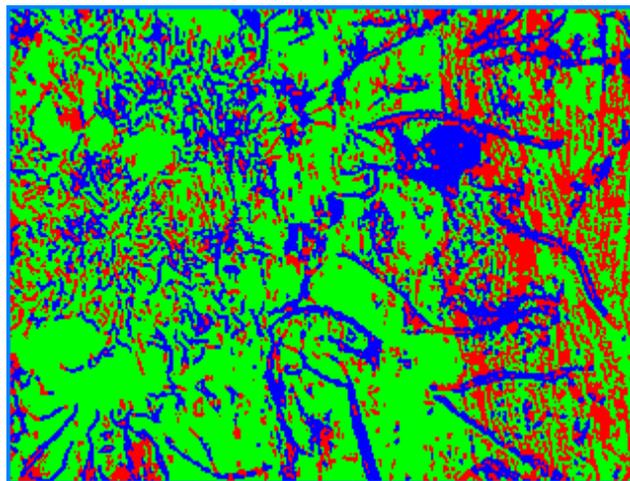


Figura 5.86 Imagen Binarizada, 400X

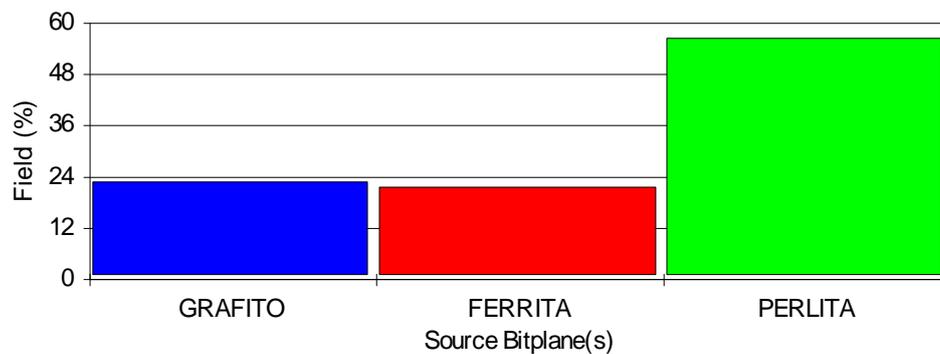


Figura 5.87 Porcentajes de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	22,5
FERRITA	21,3
PERLITA	56,1

Statistics	GRAPHITE LENGHT
Minimum:	0,2 $\mu\text{m}$
Maximum:	499,9 $\mu\text{m}$
Mean:	23,6 $\mu\text{m}$
Accepted:	100 %
Field Area:	253884,3 $\mu\text{m}^2$
Total Area:	253884,3 $\mu\text{m}^2$

Según la norma ASTM A 247 se obtiene los siguientes resultados:

Fundición gris tipo:	V
Forma del grafito:	Vermicular
Distribución del grafito:	B-C
Tamaño del grafito:	6
Matriz de fundición:	Perlítica con un porcentaje de 57% aproximadamente y ferrítica con un 22%.
Longitud promedio de hojuelas de grafito:	4.6 mm.

**Muestra JCRC: Fundición Ferrítica (a 23 mm la punta de la probeta cuneiforme)**

**Porcentajes de constituyentes**

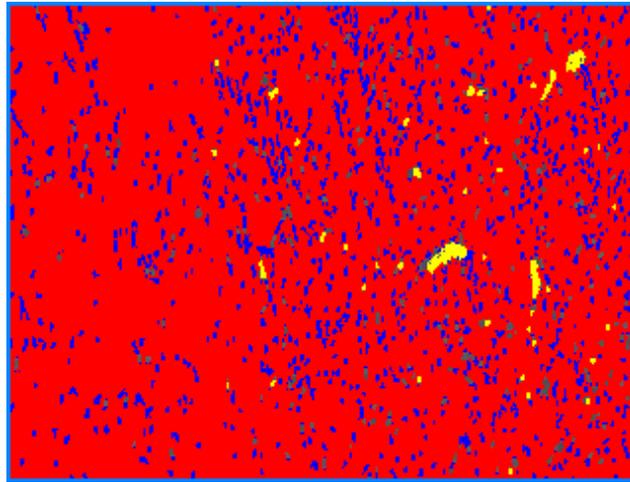


Figura 5.88 Imagen Binarizada, 100X

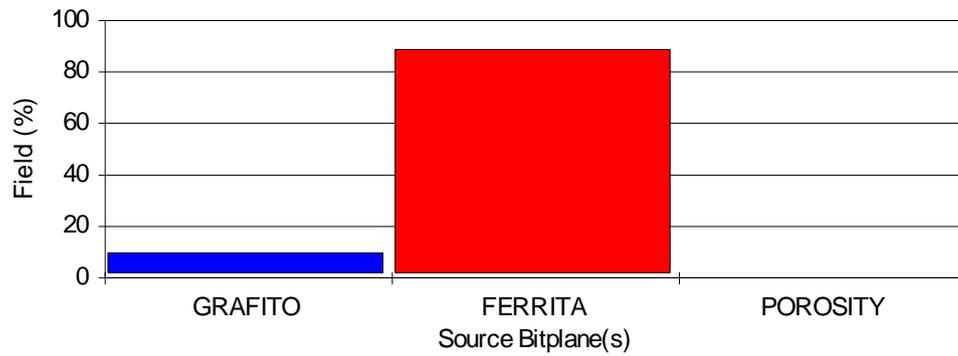


Figura 5.89 Porcentajes de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
GRAFITO	9,2
FERRITA	88,0
POROSIDAD	0,7

Statistics	GRAPHITE LENGHT
Minimum:	0,5 $\mu\text{m}$
Maximum:	84,1 $\mu\text{m}$
Mean:	7,89 $\mu\text{m}$

Statistics	POROSITY WIDTH
Minimum:	2,7 $\mu\text{m}$
Maximum:	29,0 $\mu\text{m}$
Mean:	7,26 $\mu\text{m}$

Según la norma ASTM A 247 se obtiene los siguientes resultados:

Fundición gris tipo:	IV
Forma del grafito:	Globular
Distribución del grafito:	A
Tamaño del grafito:	8
Matriz de fundición:	Ferrítica con un porcentaje de 90 aproximadamente
Longitud promedio de hojuelas de grafito:	0.8 mm.

### Muestra JCRA: Fundición Dúctil o Nodular

#### Porcentaje de constituyentes

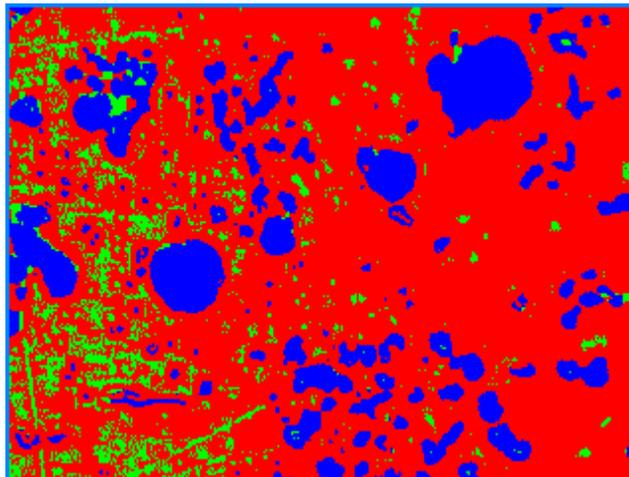


Figura 5.90 Imagen Binarizada, 400X

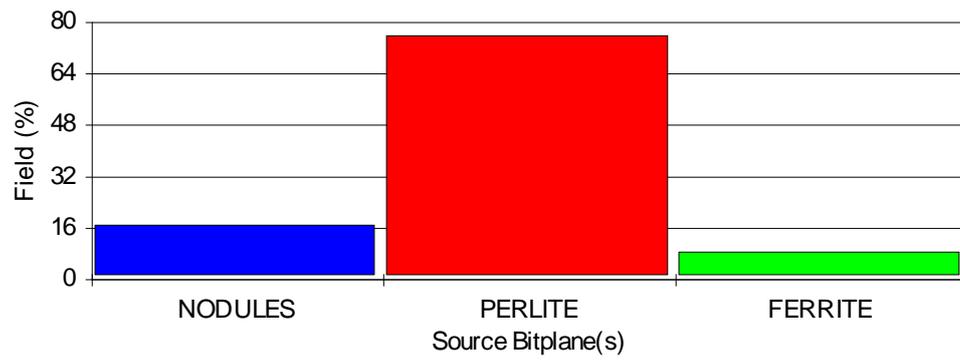


Figura 5.91 Porcentajes de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
NODULES	16,5
PERLITE	75,2
FERRITE	8,3

### ANÁLISIS DE NODULARIDAD

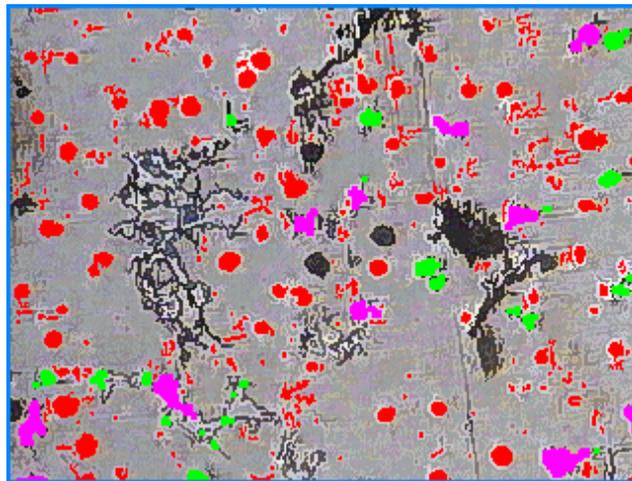


Figura 5.92 Imagen Binarizada, 100X

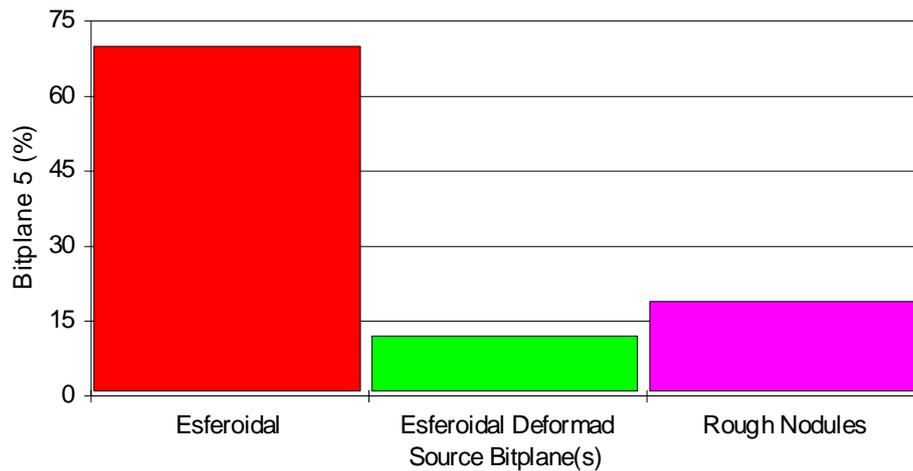


Figura 5.93 Porcentaje de nodularidad

S. Bitplane(s)	Bitplane 5 (%)
Esferoidal	69,74
Esferoidal Deformad	11,65
Rough Nodules	18,61

Statistics	Nodules length
Minimum:	0,7 $\mu\text{m}$
Maximum:	2,7 $\mu\text{m}$
Mean:	1,43 $\mu\text{m}$
Count:	24
Field Area:	2447,0 $\mu\text{m}^2$
Total Area:	2447,0 $\mu\text{m}^2$

Según la norma ASTM A 247 se obtiene los siguientes resultados:

En la probeta JCRA se encontró grafito eutéctico donde se aprecia un 70 % de I 8 y un 30 % de III 6

Según la AFS:

En la probeta JCRA se obtiene una tasa de nodularidad de 60%

## Muestra JCRF: Fundición Dúctil o Nodular

### Porcentaje de constituyentes

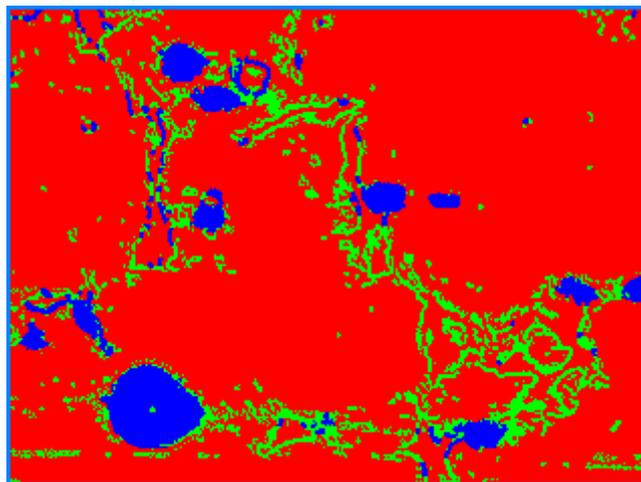


Figura 5.94 Imagen Binarizada, 400 X

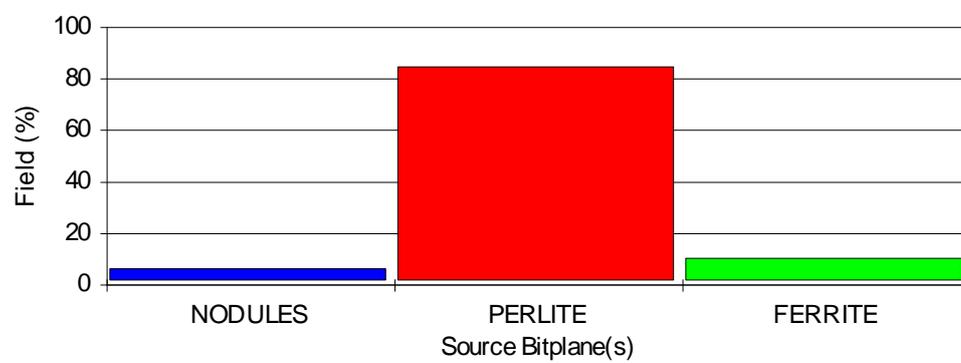


Figura 5.95 Porcentajes de constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Nodules	5,9
Perlite	84,1
Ferrite	10,0

## Análisis de Nodularidad

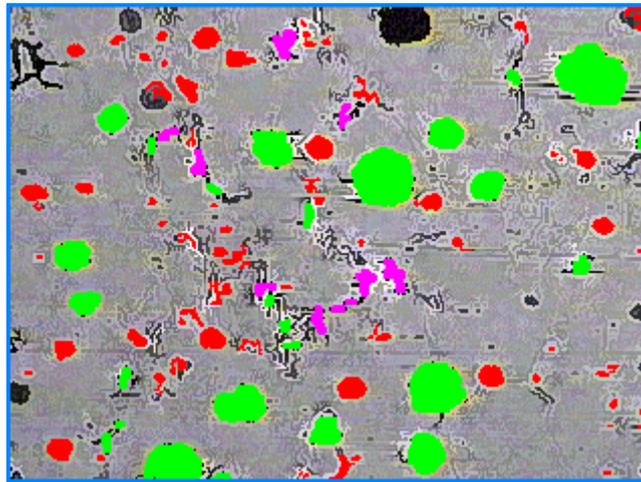


Figura 5.96 Imagen Binarizada, 100 X

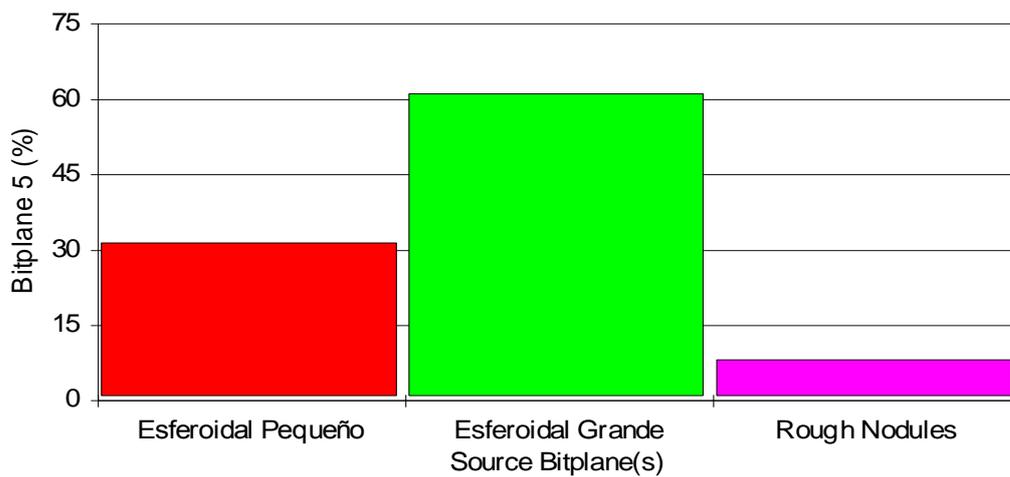


Figura 5.97 Porcentajes de Nodularidad

S. Bitplane(s)	Bitplane 5 (%)
Esferoidal Pequeño	31.23
Esferoidal Grande	60.81
Rough Nodules	7.96

Statistics	Nodules Length
Minimum:	21.4 $\mu\text{m}$
Maximum:	134.5 $\mu\text{m}$
Mean:	61 $\mu\text{m}$

Total Area: 1015537, 2  $\mu\text{m}^2$

Según la norma ASTM A 247 se obtiene los siguientes resultados:

En la probeta JCRF se encontró grafito eutéctico donde se aprecia un 90 % de I 6 y un 10 % de III 7.

Según la AFS

En la probeta JCRF se obtiene una tasa de nodularidad de 90%

**Muestra JCRG: Fundición Dúctil o Esferoidal.**

**Porcentajes de constituyentes**

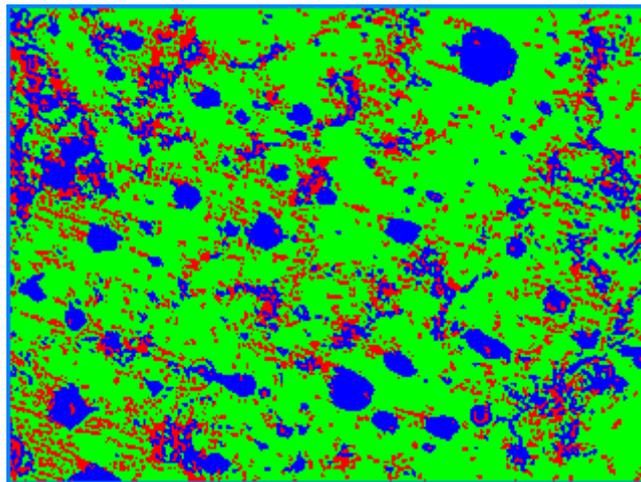


Figura 5.98. Imagen Binarizada, 400 X

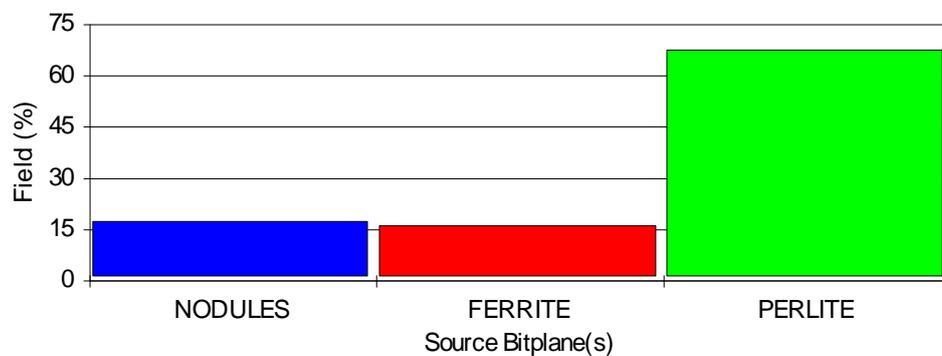


Figura 5.99 Porcentajes Constituyentes

S. Bitplane(s)	Field (%)
Nodules	17,1
Ferrite	15,8
Perlite	67,1

### Análisis de Nodularidad

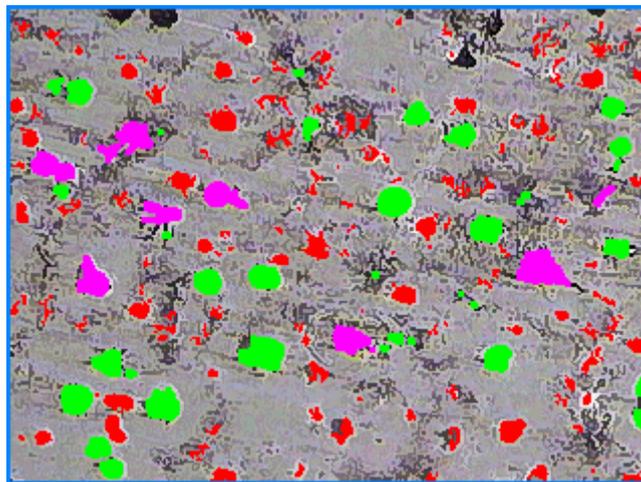


Figura 5.100 Imagen Binarizada, 200 X

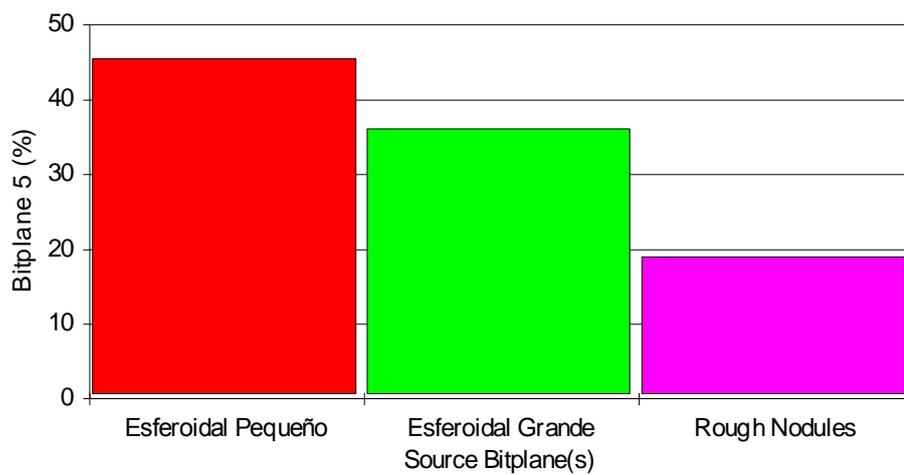


Figura 5.101 Porcentaje de nodularidad

S. Bitplane(s)	Bitplane 5 (%)
Esferoidal Pequeño	45.35
Esferoidal Grande	35.89
Rough Nodules	18.79

Statistics	NODULES LENGHT
Minimum:	6.8 $\mu\text{m}$
Maximum:	44.3 $\mu\text{m}$
Mean:	21, 4 $\mu\text{m}$
Count:	34
Total Area:	1015537,2 $\mu\text{m}^2$

Según la norma ASTM A 247 se obtiene los siguientes resultados:

En la probeta JCRG se encontró grafito eutéctico donde se aprecia un 80 % I 7 y un 20 % de III 5

Según la AFS

En la probeta JCRG se obtiene una tasa de nodularidad de 80%

## Al 1: Aluminio

### Porcentaje de porosidad

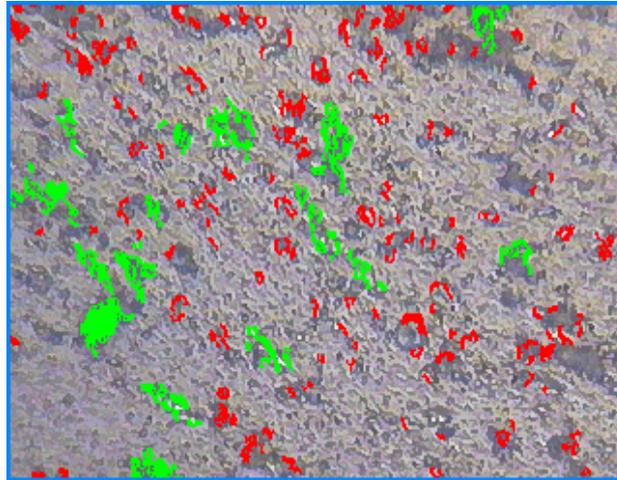


Figura 5.102 Imagen Binarizada, 100 X

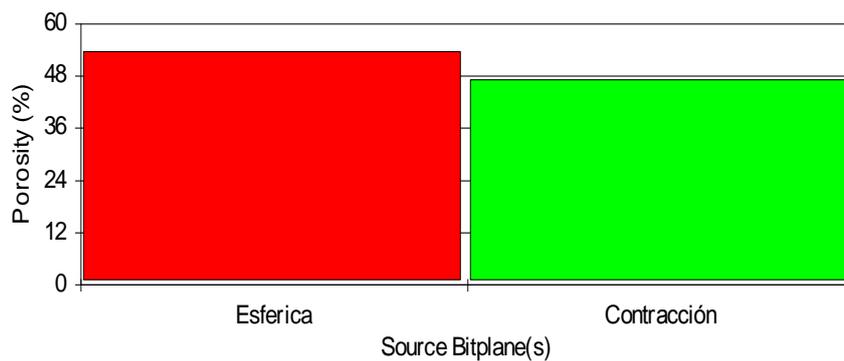


Figura 5.103 Porcentajes de Porosidad

S. Bitplane(s)	Porosity (%)
Esférica	53,18
Contracción	46,82

Statistics	Esférica
Minimum:	0,2 $\mu\text{m}^2$
Maximum:	2,9 $\mu\text{m}^2$
Mean:	0,727 $\mu\text{m}^2$
Count:	145
Total Area:	2447,0 $\mu\text{m}^2$

Statistics	Contracción
Minimum:	0,3 $\mu\text{m}^2$
Maximum:	11,3 $\mu\text{m}^2$
Mean:	2,51 $\mu\text{m}^2$
Count:	37
Total Area:	2447,0 $\mu\text{m}^2$

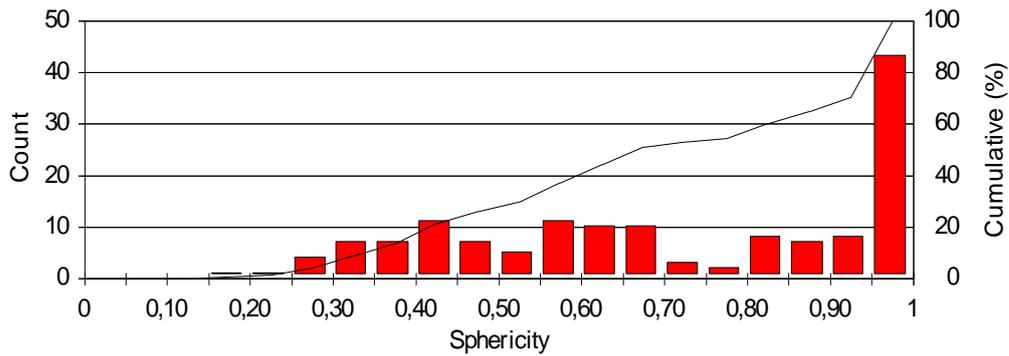


Figura 5.104 Gráfico de barras Porosidad Esférica

Statistics	Sphericity
Minimum:	0,17
Maximum:	1
Mean:	0,711
Count:	145
Total Area:	2447,0 $\mu\text{m}^2$

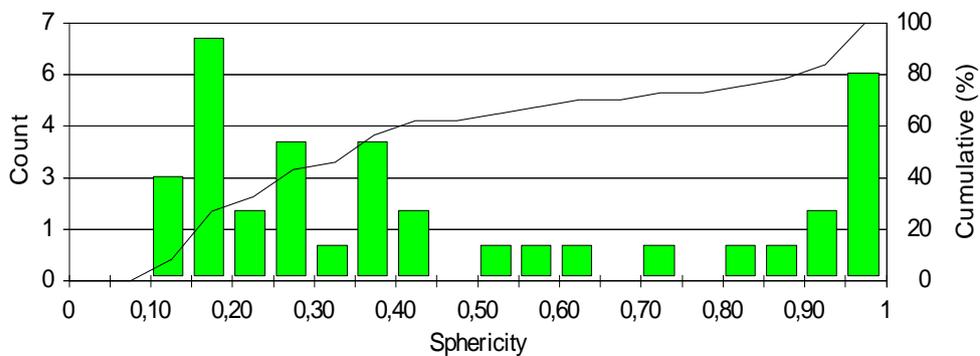


Figura 5.105 Gráfica de barras porosidad contracción

Statistics	Sphericity
Minimum:	0,10
Maximum:	1
Mean:	0,478
Count:	37
Total Area:	2447,0 $\mu\text{m}^2$

**B1: Latón**

**Porcentaje de constituyentes**

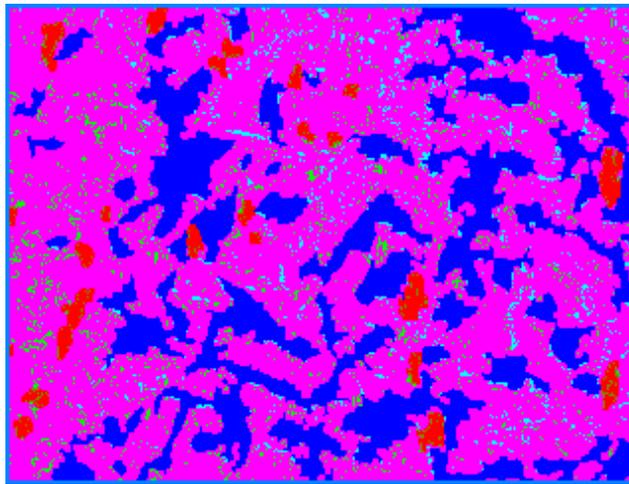


Figura 5.106 Imagen Binarizada, 200X

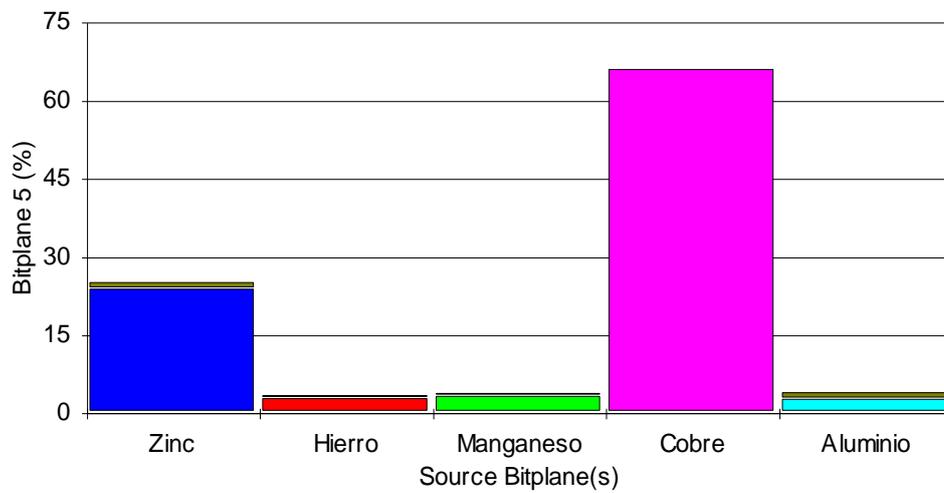


Figura 5.107 Porcentajes de constituyentes

S. Bitplane(s)	Bitplane 5 (%)
Zinc	25,1
Hierro	2.9
Manganeso	1.8
Cobre	64,9
Aluminio	3,5

**Area Zinc**

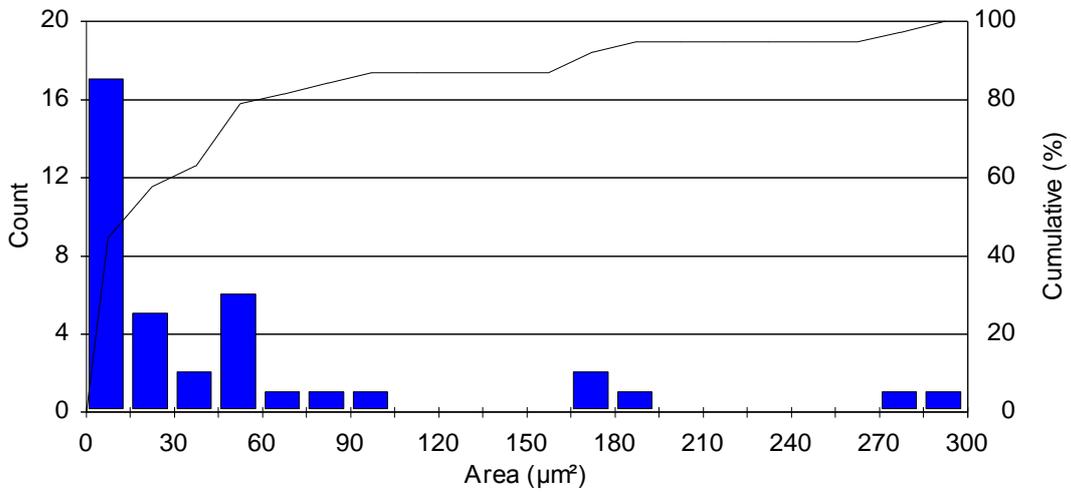


Figura 5.108 Grafica de Barras área del Zinc.

Statistics	Zinc área
Minimum:	3,1 µm²
Maximum:	296,8 µm²
Mean:	52,8 µm²
Count:	38
Total Area:	7991,7µm²

### Area Hierro

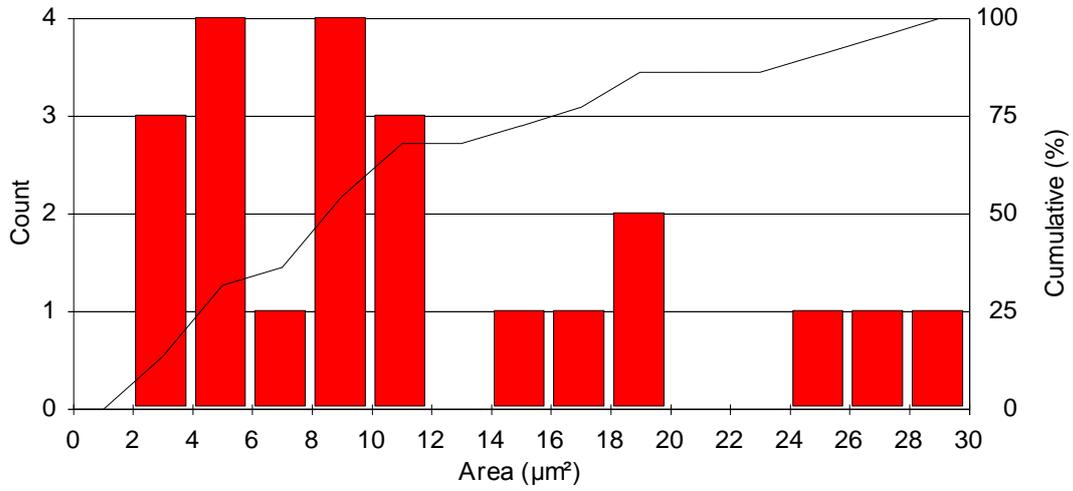


Figura 5.109 Gráfica de barras área de Hierro

Statistics	Hierro área
Minimum:	2,5 $\mu\text{m}^2$
Maximum:	28,7 $\mu\text{m}^2$
Mean:	11,8 $\mu\text{m}^2$
Count:	22
Total Area:	7991,7 $\mu\text{m}^2$

### Area Manganeso

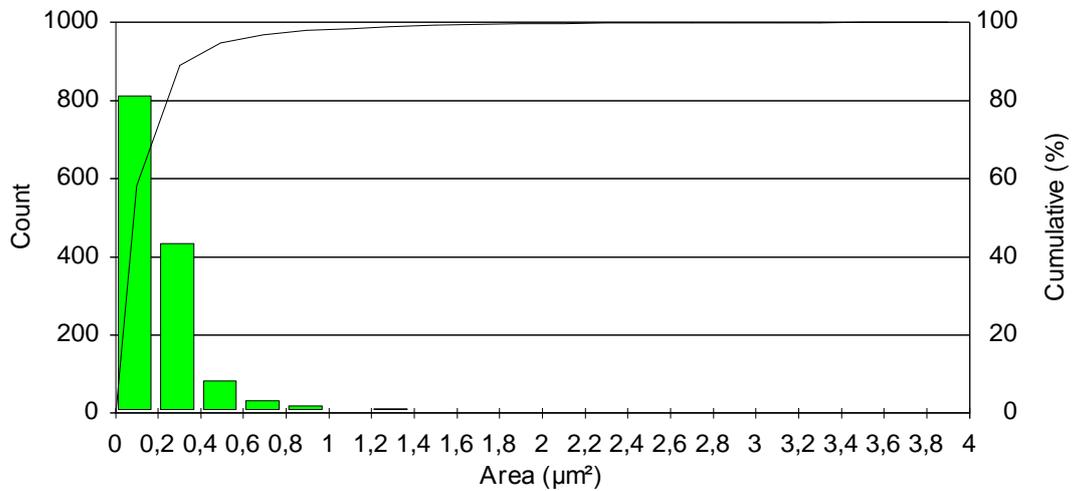


Figura 5.110 Gráfica de barras área de manganeso

Statistics	Manganeso área
Minimum:	0,1 $\mu\text{m}^2$
Maximum:	3,4 $\mu\text{m}^2$
Mean:	0,216 $\mu\text{m}^2$
Count:	1392
Total Area:	7991,7 $\mu\text{m}^2$

### Aluminio

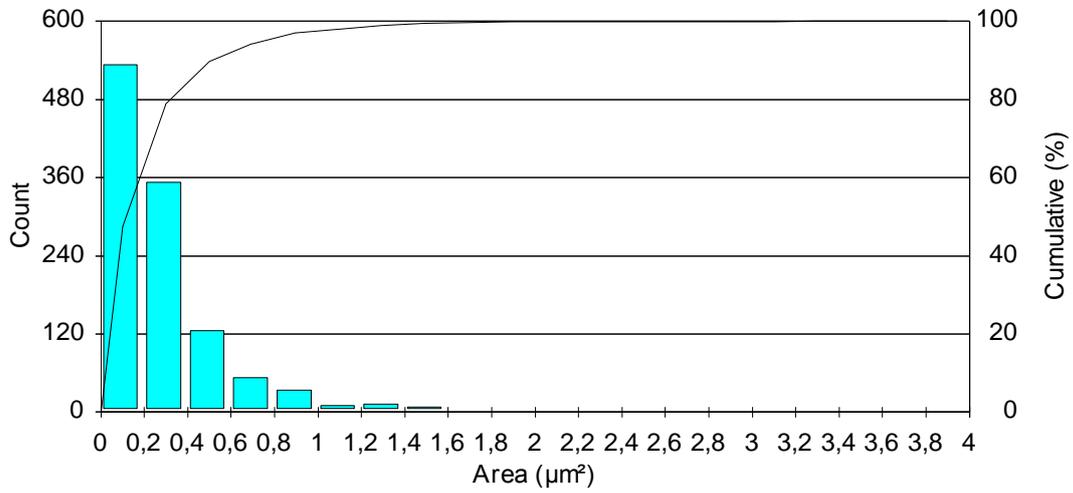


Figura 5.111 Gráfica de barras área de aluminio

Statistics	Aluminio área
Minimum:	0,1 $\mu\text{m}^2$
Maximum:	3,3 $\mu\text{m}^2$
Mean:	0,271 $\mu\text{m}^2$
Count:	1121
Total Area:	7991,7 $\mu\text{m}^2$

### 5.5.3 VALORACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

Tabla 5.11 Comparaciones de resultados

<b>CÓDIGO MUESTRA</b>	<b>PRUEBA SOLICITADA</b>	<b>DATOS CLEMEX PE</b>	<b>DATOS EMPRESA</b>
JCRC	Porcentaje constituyentes Normas ASTM A-247	Fundición gris: VB5 40% y VC6 60%	Datos no elaborados
		Fundición ferrítica: IVA8	Datos no elaborados
JCRA	Porcentaje de constituyentes Análisis de nodularidad ASTM A 247	70 % de I 8 y un 30 % de III 6 AFS: 60% nodularidad	Datos no elaborados
JCRF	Porcentaje de constituyentes Análisis de nodularidad ASTM A 247	90 % de I 6 y un 10 % de III 7 AFS: 90 % nodularidad	Datos no elaborados
JCRG	Porcentaje de constituyentes Análisis de nodularidad ASTM A 247	80 % de I 7 y un 20 % de III 5 AFS: 80 % nodularidad	Datos no elaborados
AL 1	Análisis de porosidad	Esférica 53,18 % Area: 0,727 $\mu\text{m}^2$ Contracción 46,82% Area: 2,51 $\mu\text{m}^2$	Datos no elaborados

Fuente: Propia

Tabla 5.11 Comparaciones de resultados (continuación)

<b>CÓDIGO MUESTRA</b>	<b>PRUEBA SOLICITADA</b>	<b>DATOS CLEMEX PE</b>	<b>DATOS EMPRESA</b>
B 1	Porcentaje de constituyentes Area de constituyentes	Zinc 25,1% Hierro 2.9% Manganeso 3,8% Cobre 64,9% Aluminio 3,5%	Datos no elaborados

Fuente: Propia

#### **5.5.4 CONCLUSIONES**

Para la formación de grafito depende del contenido de silicio de la mezcla y el tipo de molde donde se ha colado las piezas: en los moldes de arena no hay una alta transferencia de calor y es un factor determinante para la formación de grafito, en el caso contrario en un molde de metal que tiene alta conductividad térmica se obtendrá una fundición blanca.

Nos encontramos con una fundición dúctil o esferoidal y su microestructura está constituida por esferoides de grafito rodeados por aureolas de ferrita sobre una matriz de perlita. La fundición esferoidal tiene una alta resistencia al desgaste que es de suma importancia para la fabricación de elementos de máquinas y motores.

Según el porcentaje de los constituyentes nos podemos encasillar en la presencia de un bronce al manganeso, la adición de zinc incrementa la ductibilidad junto con la resistencia al desgaste.

## 5.6 ENSAYO METALOGRAFICO EN ACINDEC

### 5.6.1 PRUEBA SOLICITADA

Tabla 5.12 Muestras presentadas por Acindec

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO	MATERIAL	PRUEBA SOLICITADA	ATAQUE QUÍMICO
1	ACI -1	AISI 304	Área de precipitación de cromo en la ZAC. Tamaño de grano.	10 ml HCL, 3 ml HNO <sub>3</sub> , 100 ml metanol.
2	AC I-2	TUBO INOXIDABLE	Tamaño de grano	10 ml HCL, 3 ml HNO <sub>3</sub> , 100 ml metanol.

Fuente: Propia

Se procede a realizar el análisis metalográfico, cuyos resultados se basan en las siguientes normas ASTM:

ASTM E-3 Preparing of Metallographic Specimens.

ASTM E-407 Method For Microetching Metals and Alloys.

ASTM E-112 Test Methods For Determining Average Grain Size.

**MUESTRA ACI-1**

**Tamaño de Grano**

**Porcentaje de precipitación de Cromo**

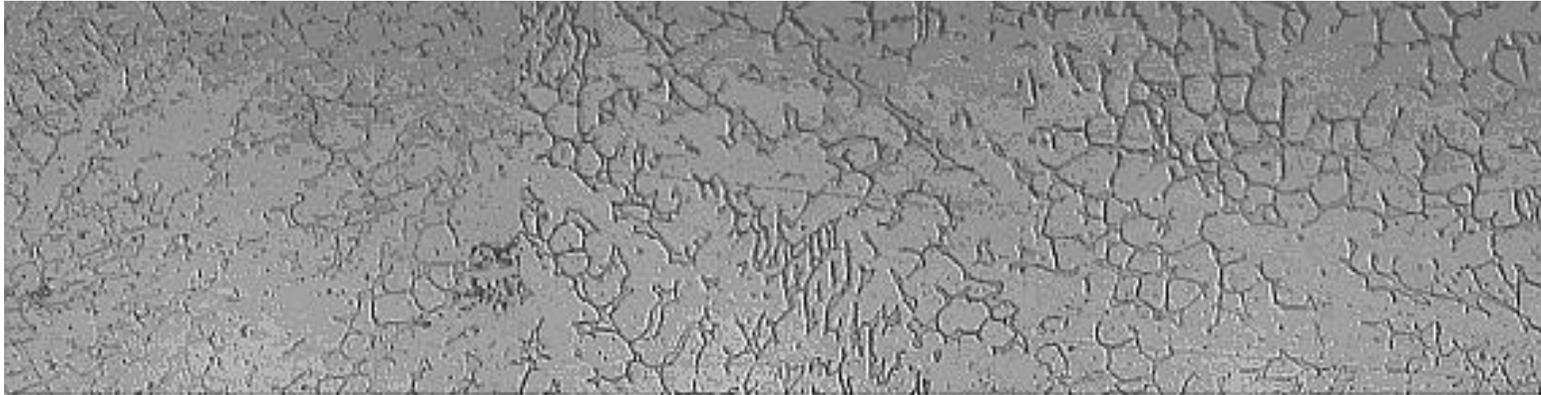


Figura 112. Imagen digitalizada soldadura, 200X

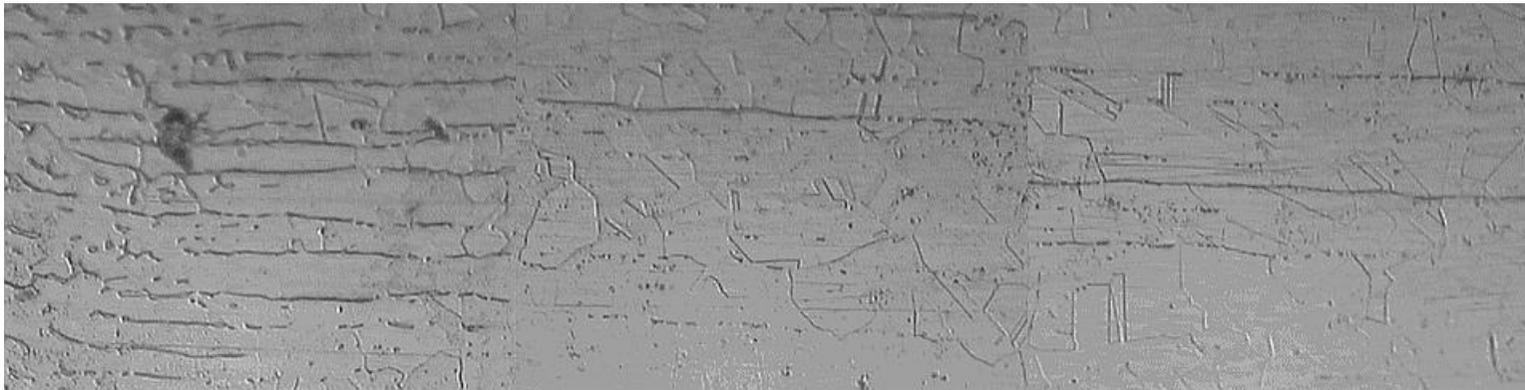


Figura 1113. Imagen digitalizada soldadura, 200X

**MUESTRA ACI-2**

**Tamaño de Grano**

**Porcentaje de precipitación de Cromo**

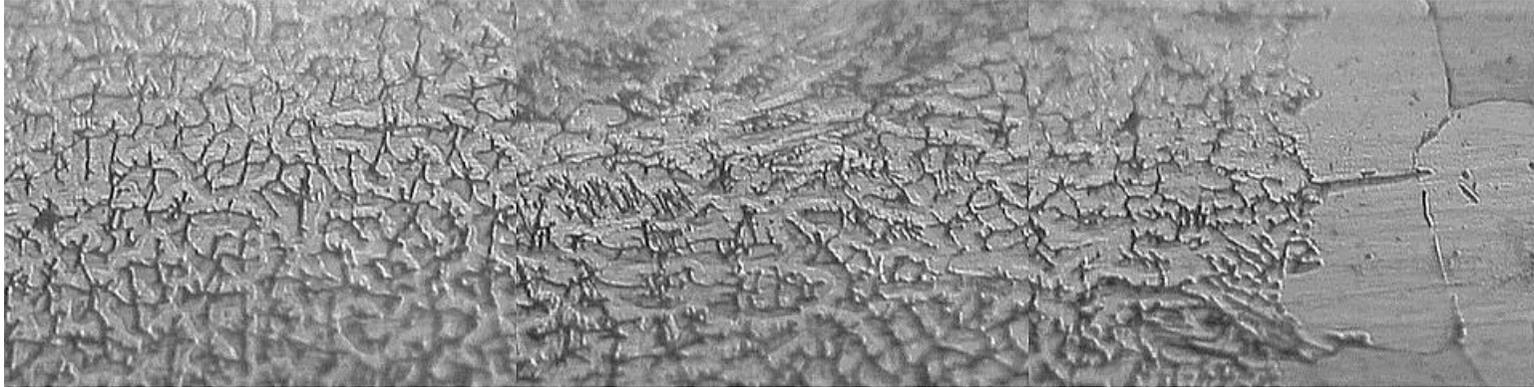


Figura 114. Imagen digitalizada soldadura, 200X

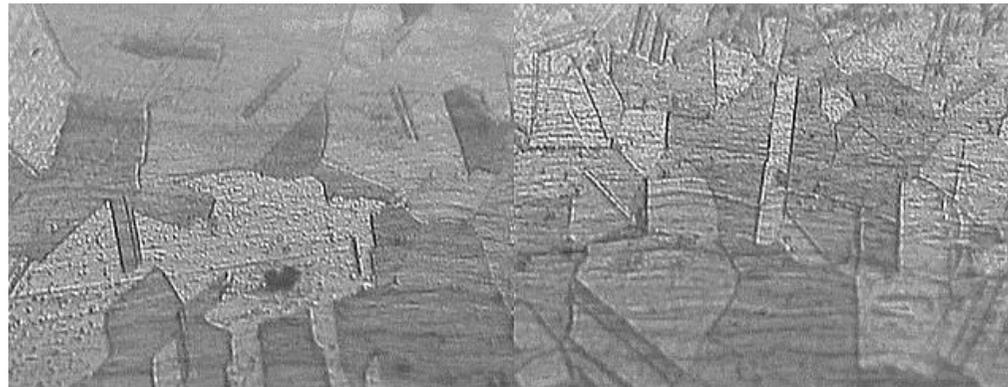


Figura 115. Imagen digitalizada soldadura, 200X

## 5.6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Muestra ACI-1

#### Tamaño de Grano Austenítico en la Zona de fusión incompleta.

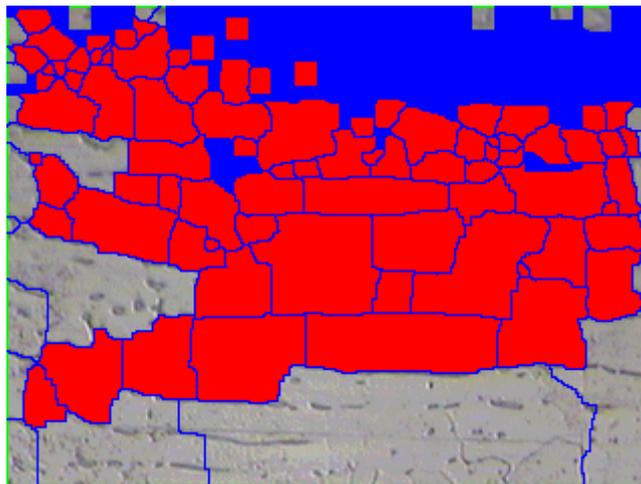


Figura 5.116 Imagen Binarizada, 200X

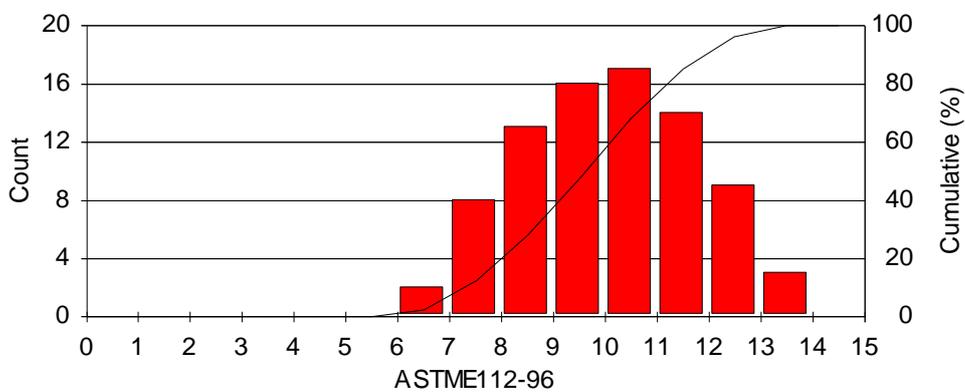


Figura 5.117 Gráfica de barras tamaño de grano

#### Statistics

Minimum: 6,86

Maximum: 13,46

Rating #: 9,71

Count: 82

Total Area: 30283,2  $\mu\text{m}^2$

## Tamaño de grano en la zona de sobrecalentamiento

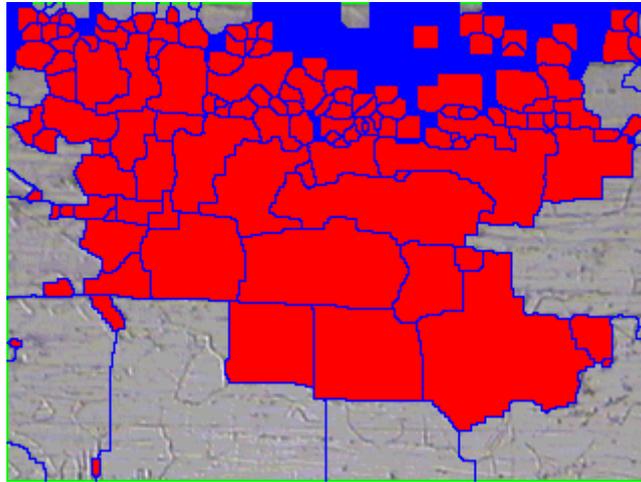


Figura 5.118 Imagen Binarizada, 200X

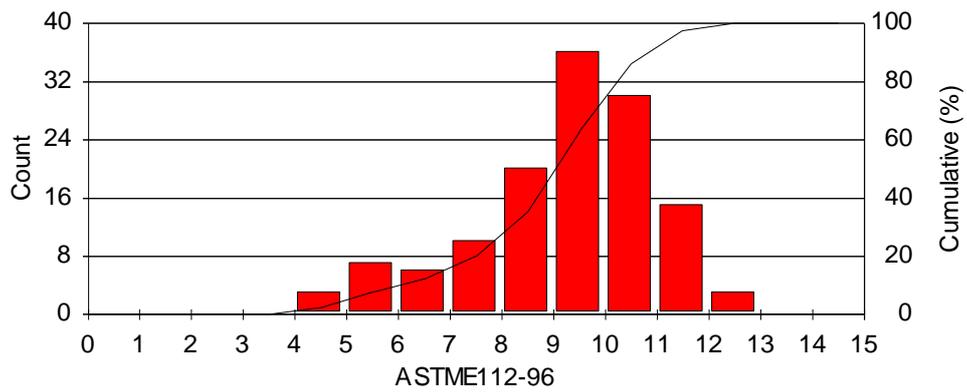


Figura 5.119 Gráfica de tamaño de grano

### Statistics

Minimum: 4, 14

Maximum: 12, 33

Rating #: 8, 61

Count: 130

Total Area: 120732, 8  $\mu\text{m}^2$

## Tamaño de grano en el metal base.

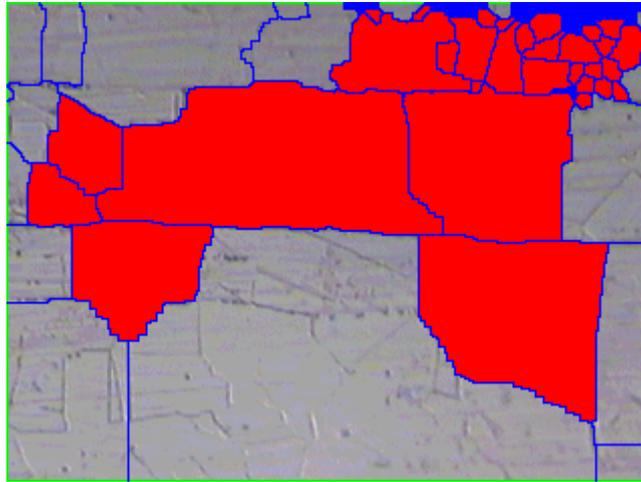


Figura 5.120 Imagen Binarizada, 200X

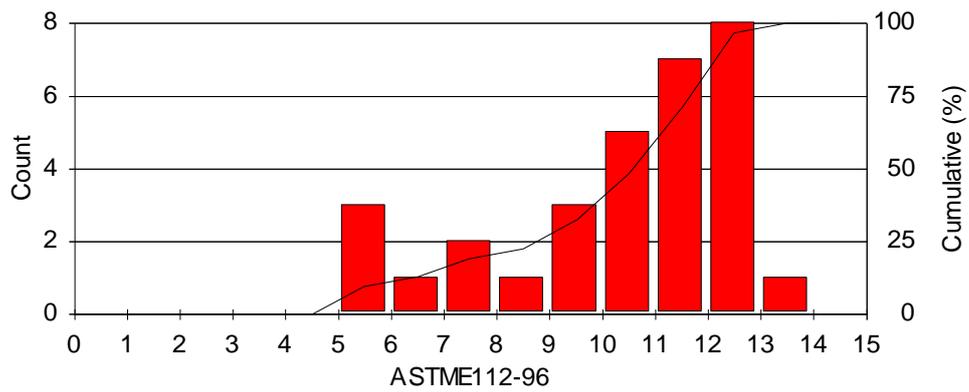


Figura 5.121 Gráfica de barras tamaño de grano

### Statistics

Minimum: 5,03

Maximum: 13,11

Rating #: 9,31

Count: 31

Total Area: 30283,2  $\mu\text{m}^2$

## Área de precipitación de Cromo en la ZAC

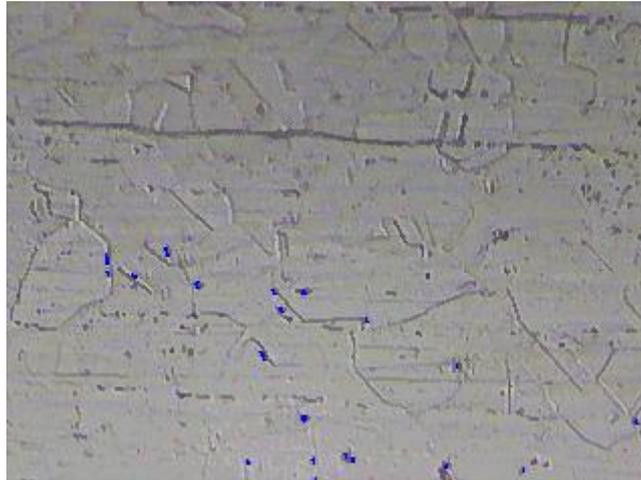


Figura 5.122 Imagen digitalizada ZAC

## Área de los Carburos de Cromo

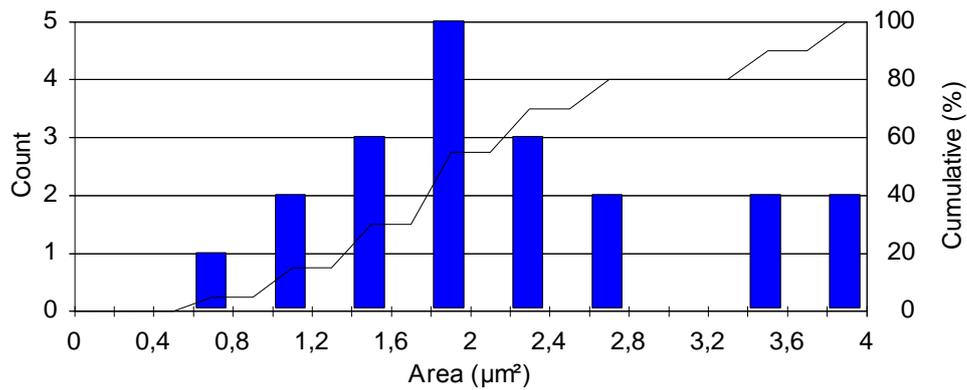


Figura 5.123 Gráfica barras área de carburos de cromo

### Statistics

Minimum: 0,8 µm<sup>2</sup>

Maximum: 3,9 µm<sup>2</sup>

Mean: 2,27 µm<sup>2</sup>

Total Area: 30283,2 µm<sup>2</sup>

## Longitud de Carburos de Cromo

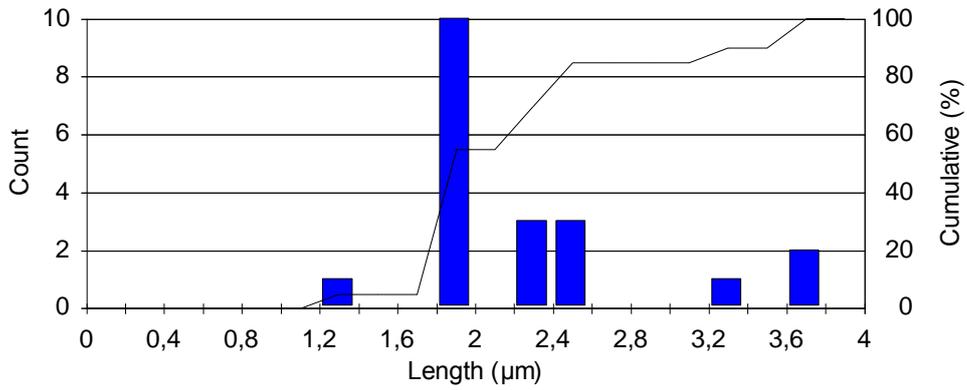


Figura 5.124 Gráfica de barras longitud de carburos de cromo

### Statistics

Minimum: 1,3 µm

Maximum: 3,8 µm

Mean: 2,32 µm

Total Area: 30283,2 µm<sup>2</sup>

## Muestra ACI-2

Tamaño de grano en la zona de fusión incompleta.

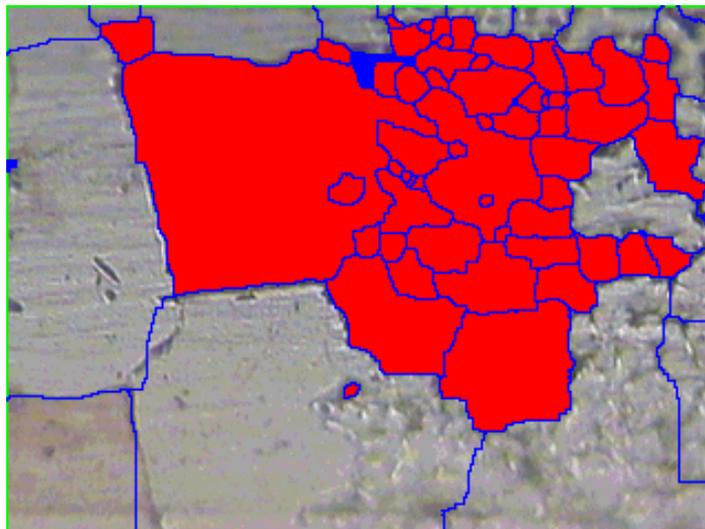


Figura 5.125 Imagen Binarizada, 200X

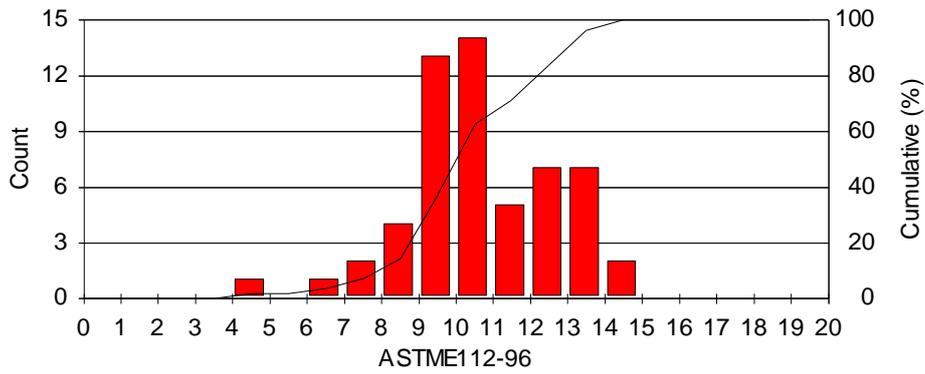


Figura 5.126 Gráfica de barras tamaño de grano

Statistics

Minimum: 4,93  
 Maximum: 15,00  
 Rating #: 9,99  
 Count: 56  
 Total Area: 30283,2  $\mu\text{m}^2$

**Tamaño de grano en la zona de Sobrecalentamiento**

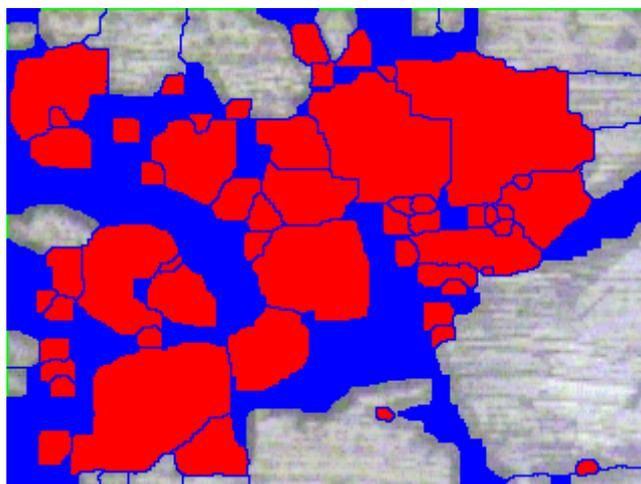


Figura 5.127 Imagen Binarizada, 100X

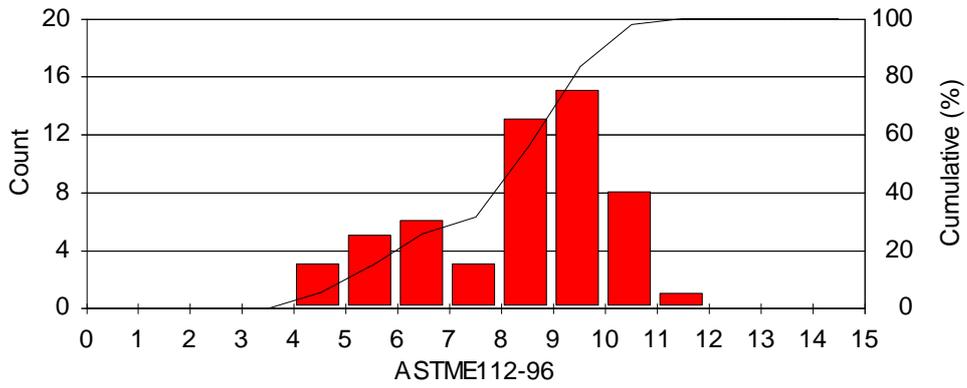


Figura 5.128 Gráfica de barras tamaño de grano

Statistics

Minimum: 4,10  
 Maximum: 11,68  
 Rating #: 7,68  
 Count: 54  
 Total Area: 120732,8  $\mu\text{m}^2$

**Tamaño de grano en la zona de Normalizado**

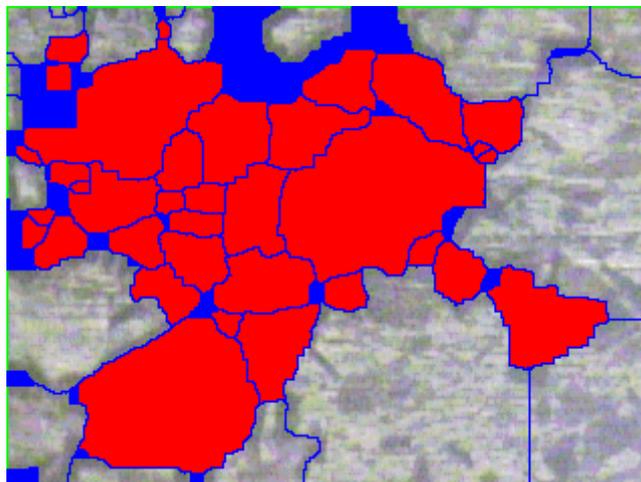


Figura 5.129 Imagen Binarizada, 100X

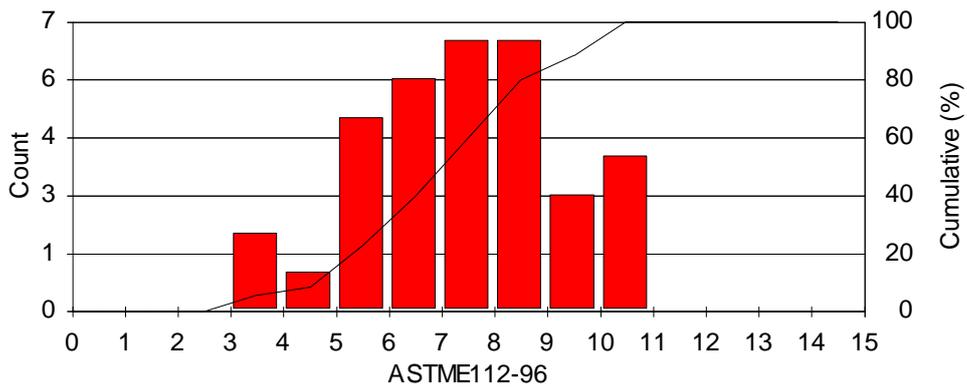


Figura 5.130 Gráfica de barras tamaño de grano

Statistics

Minimum: 3,84

Maximum: 10,65

Rating #: 6,92

Count: 35

Total Area: 120732,8 μm<sup>2</sup>

Tamaño de grano en el metal base

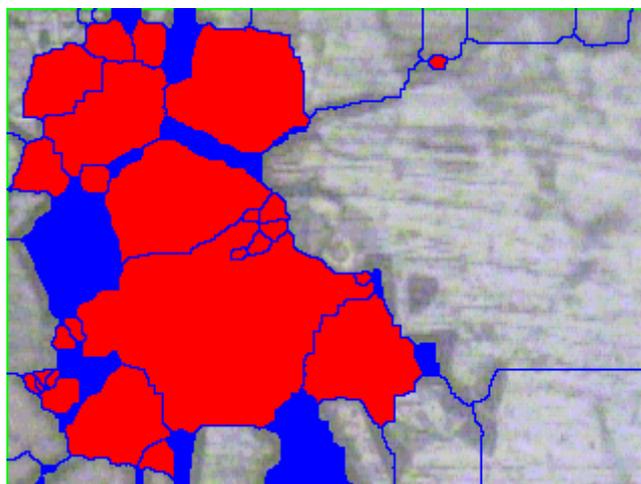


Figura 5.131 Imagen Binarizada, 200X

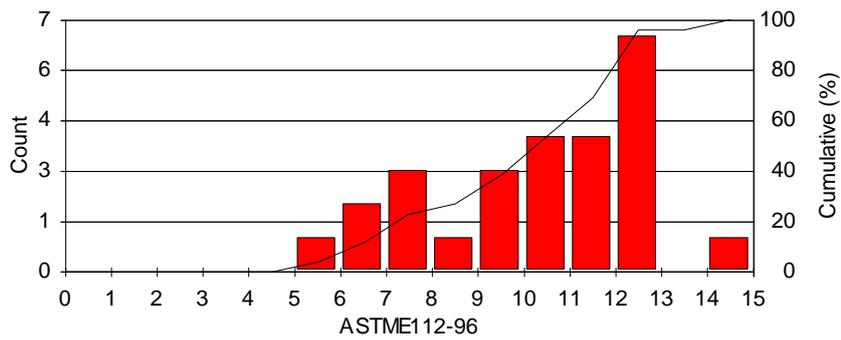


Figura 5.132 Gráfica de barras tamaño de grano

Statistics

Minimum: 5, 17  
 Maximum: 14, 32  
 Rating #: 9, 26  
 Count: 26  
 Total Area: 30283, 2  $\mu\text{m}^2$

5.6.3 VALORACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

Tabla 5.13 Comparación de datos

CODIGO MUESTRA	PRUEBA SOLICITADA	DATOS CLEMEX PE				DATOS EMPRESA
		Área ( $\mu\text{m}^2$ )	Longitud ( $\mu\text{m}$ )			
ACI -1	Área y longitud de precipitaciones de cromo en la ZAC.	2,27	2,32		Datos no elaborados	
		Fusión incompleta	Zona de sobrecalentamiento	Metal Base		
	Tamaño de grano	9,71	8,61	9,31		
AC I-2	Tamaño de grano	Fusión incompleta	Zona de sobrecalentamiento	Zona de normalizado	Metal Base	Datos no elaborados
		9,99	7,68	6,92	9,26	

Fuente: Propia

## 5.64 CONCLUSIONES

Al efectuar el análisis de tamaño de grano en las diferentes zonas de la soldadura se ha comprobado que este parámetro cambia en cada una de ellas, resultado que se da por la diferencia de temperatura que existe en cada una de las zonas, es así que en la zona de sobrecalentamiento existe un grano mas grueso y en la zona normalizada se observa un grano mas fino, para terminar en la el metal base sonde existe la recuperación de los granos deformados.

En el análisis de carburos de cromo se aprecia que no existe un porcentaje elevado en la conformación de su microestructura, pero lo que no es suficiente razón para admitir que podría formarse corrosión Intergranular a largo tiempo.

# **CAPÍTULO VI**

## **EVALUACIÓN ECONÓMICO- FINANCIERO**

En este capítulo “Estudio económico-financiero” se expresa cuantitativamente las ventajas financieras y los costos que se determina en la implementación del presente proyecto, expresa los beneficios y el valor agregado que se otorga al sector o mercado productivo al que se ataca.

### **6.1 ESTUDIO ECONÓMICO**

Dentro del gran mercado de prestación de servicios profesionales que está muy desarrollado en nuestro país, debido a la implementación del sistema de tercerización u outsourcing, se realizó una investigación y sondeo de mercado en el cual se determinó que aún no se ha impulsado la promoción de prestación de servicios de ensayos y caracterizaciones metalográficas, mediciones, estudios y evaluaciones que son de mucha utilidad para la industria de metalurgia del país, lo que ha ocasionado que las grandes empresas tengan la necesidad de adquirir los equipos necesarios para poder analizar las micro estructuras de los metales.

Este fenómeno económico evidencia que en nuestro país la oferta de estos servicios está muy por debajo de la demanda de empresas que requieren la realización de dichos estudios, sin necesidad de realizar una inversión costosa, de ahí que la factibilidad de este proyecto está comprobada, aún más si el proveedor es una institución de tan alto nivel como la Escuela Politécnica del Ejército, que garantiza la calidad y el profesionalismo de los estudios.

#### **6.1.1 BENEFICIARIOS**

Para la determinación de este aspecto, se ha dividido a los beneficiarios de este proyecto en dos grupos:

Beneficiarios Directos.- El laboratorio de metalurgia de la Escuela Politécnica del Ejército, el cual obtendrá un equipo versátil confiable, rápido y de alta precisión que permitirá obtener estudios de metalografía cuantitativa computarizada y valoración de resultados con ensayos metalográficos; los alumnos de la Facultad de Ingeniería Mecánica, a quienes, para sus prácticas se les ha dotado de un sistema digital como aporte técnico y práctico a la investigación.

Beneficiarios Indirectos.- Las empresas del sector metalúrgico y metalmeccánico que requieran de la prestación de estos servicios.

## 6.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

Dentro de la evaluación Financiera se presenta el presupuesto del Proyecto, los costos, y las fuentes de financiamiento.

Se analizan los costos invertidos en el desarrollo del proyecto comparando con el beneficio que se va a obtener con la implementación de las soluciones propuestas, analizando el costo/beneficio.

### 6.2.1 COSTOS

#### 6.2.1.1 Ingeniería y administración

Tabla 6.1 Misceláneos Fuente: Propia

TIPO	VALOR
Materiales de apoyo logístico	50,00
Útiles de Oficina	50,00
Uso de vehículos y transporte	50,00
Servicios Básicos (Electricidad, agua potable, teléfono, etc).	60,00

Tabla 6.1 Misceláneos (continuación)

<b>TIPO</b>	<b>VALOR</b>
Viáticos y Subsistencias	50,00
Otros Gastos de funcionamiento	30,00
<b>TOTAL 6.2.1.1</b>	290,00
<b>SUBTOTAL 1 (USD)</b>	<b>290,00</b>

Fuente: Propia

### 6.2.1.2 COSTOS DIRECTOS

Tabla 6.2 Honorarios profesionales

<b>Cant.</b>	<b>Posición</b>	<b>Horas –H</b>	<b>Valor H-H</b>	<b>Valor Total</b>
1	Director	48	6,00	288,00
1	Codirector	24	6,00	144,00
1	Proveedor Software	8	7,50	60,00
	<b>TOTAL</b>		(USD)	492,00

Fuente: Propia

Tabla 6.3 Remuneraciones a no profesionales Fuente: Propia

<b>Cant.</b>	<b>Posición</b>	<b>Horas –H</b>	<b>Valor H-H</b>	<b>Valor Total</b>
2	Egresados FIME	360	2,00	1,440,00
	<b>TOTAL</b>		(USD)	1,440,00

Tabla 6.4 Adquisición de Materiales y Equipos Fuente: Propia

<b>Cant.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Total</b>
1	Cámara Digital	400,00
1	Tarjeta de video	200,00
1	Cable, puerto USV	3,00
1	Varios	50,00
	<b>TOTAL</b>	(USD) 653,00

<b>SUBTOTAL 2</b> (USD)	<b>3,555.00</b>
-------------------------	-----------------

<b>IMPREVISTOS</b> (Máximo 10% de la suma de 1. y 2.)	384,50
<b>ESCALAMIENTO DE COSTOS</b>	126,90
<b>COSTOS FINANCIEROS</b>	100,00

<b>TOTAL GENERAL DEL PROYECTO (USD):</b>	<b>4,456.00</b>
--	-----------------

Tabla 6.5 Fuente de Financiamiento

<b>RUBROS</b>	<b>VALOR</b>	<b>FINANCIAMIENTO</b>
Ingeniería y Administración	290,00	<sup>2</sup> Recursos Propios
Costos Directos	3,555.00	Recursos Propios
Imprevistos	384,50	Recursos Propios
Escalamiento de Costos	126,90	Recursos Propios
Costos Financieros	100,00	Recursos Propios
<b>TOTAL FINANCIAMIENTO (USD)</b>	<b>4,456.40</b>	

Fuente: Propia

## 6.2.2 ÍNDICES FINANCIEROS

Debido a que el financiamiento es con recursos propios de los estudiantes que desarrollan el proyecto, y el mismo será una donación para el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, los índices financieros únicamente advierten rentabilidad en el Proyecto de un 100%, en el caso de que la Universidad decida otorgar estos servicios a empresas de Metalurgia y Metalmeccánica de la Región, adicionalmente obtiene un valor agregado y un rendimiento no cuantificable al aportar a la investigación estudiantil.

<sup>2</sup> Los recursos propios es aportado 100% por los estudiantes que desarrollan el proyecto.

Dentro de la evaluación económica – financiera, es importante obtener los indicadores que evalúan la factibilidad financiera del proyecto en cuanto a su rentabilidad y a la capacidad de retorno de la Inversión, por lo que a continuación, se calcula el TIR “Tasa interna de rendimiento” y “VAN Valor Actual Neto”

Tabla 6.6 Flujo de Caja

	<b>CONCEPTOS</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>
<b>+ INGRESOS</b>				
	Ingresos por prestación de servicios Estudios Metalográficos	2,000.00	2,500.00	3,000.00
<b>- EGRESOS</b>				
	Costos por Estudios (Honorarios Técnicos)	-480.00	-550.00	-640.00
	Costos Indirectos (Luz, Depreciación de Equipos)	-240.00	-288.00	-345.00
	<b>Flujo Neto de Caja</b>	<b>1,280.00</b>	<b>1,662.00</b>	<b>2,015.00</b>

Fuente: Propia

Como se puede evidenciar en el Flujo de Caja Proyectado, la inversión de los estudiantes se podría recuperar en un plazo menor a tres años, por cuanto la demanda de los estudios registra una tendencia de crecimiento aproximada del 20%.

#### **6.2.2.1 Valor actual neto (VAN)**

Para el cálculo del Van es importante establecer las tasas activas del financiamiento de la inversión, considerando que el financiamiento del proyecto es 100% de parte de los estudiantes y el presente constituye una donación para la universidad, cualquier tasa activa superior al 0% resulta rentable para la

institución ejecutoria del mismo, por lo que para el cálculo del TIR y el VAN se establecen las tasas del 2 y 6 por ciento.

Tabla 6.7 Tasas Activas de Financiamiento de Inversión

<b>TASAS</b>			<b>2%</b>		<b>6%</b>
FNC 1	1,280.00	1.02	1,254.90	1.06	1,207.54
FNC 2	1,662.00	1.04	1,598.00	1.12	1,483.92
FNC 3	2,015.00	1.06	1,901.00	1.19	1,693.27
			<b>4,753.90</b>		<b>4,384.73</b>

Fuente: Propia

Como se puede evidenciar en el cálculo del Valor Actual Neto, los resultados son positivos por lo que cualquiera de las tasas aplicadas o superiores representan factibilidad y rentabilidad al proyecto, por cuanto no se ha incurrido en financiamiento de la inversión.

### 6.2.2.2 Tasa interna de rendimiento (TIR)

Tabla 6.8 Cálculo del TIR

$$TIR \approx R1 + (r2 - r1) \left( \frac{VAN1}{VAN1 - VAN2} \right) \quad (\text{Ecuación. 6.1})$$

$$r1 = 2$$

$$r2 = 6$$

$$TIR = 0.02 + (0.04) \left( \frac{4,753.90}{369.17} \right)$$

$$TIR = 0.02 + (0.04)(12.87)$$

$$TIR = 0.02 + 0.5148$$

$$TIR = 0.5348$$

$$TIR = 53.48\%$$

La tasa interna de retorno es del 53.48%, lo que indica que la inversión es altamente ventajosa y rentable, por cuanto el indicador está sobre el costo del capital de inversión que en este caso es 0%.

La gran rentabilidad del proyecto, se debe principalmente a la forma del financiamiento, a la gran demanda de estudios metalográficos existente en el mercado industrial y a la reputación y renombre de la entidad ejecutora de los estudios.

### **6.3 ANALISIS DE FACTIBILIDAD**

La Factibilidad de este proyecto está comprobada al 100%, principalmente por el aporte a la investigación estudiantil y a la práctica profesional, otorgando la posibilidad de comercializar este servicio a un costo bajo en el mercado, que permita a las empresas de metalurgia y metalmecánica contar con un servicio de calidad sin fin de lucro, cuyo único objetivo es el fomentar y promocionar la capacidad técnica de sus estudiantes.

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

1. El Comportamiento de los materiales metálicos, expuestos a diferentes factores de temperatura, adiciones de nuevos constituyentes y ensayos mecánicos, producen cambios interesantes que merecen su estudio pormenorizado, ya que en estas variaciones se determinan las bases para el mejoramiento de la estructura de los mismos, en cuanto a las propiedades mecánicas y físicas, como ductibilidad, dureza, tenacidad y desgaste.
2. La conjunción y utilización de equipos relativamente simples en sus aplicaciones (video, computadora, cámara y microscopio), con la ayuda de un sistema operativo adecuado, han permitido generar una herramienta integral, la cual permite visualizar, modificar la imagen, cuantificar e identificar en forma detallada y pormenorizada los componentes o constituyentes de un metal.
3. De la investigación realizada a las aplicaciones y bondades del sistema operativo CLEMEX VISION PE, se pudo determinar que el mismo permite cuantificar con mayor exactitud los análisis metalográficos, dotando a los resultados obtenidos de una mayor veracidad.
4. Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos metalográficos, han constituido una herramienta adecuada de evaluación para cada uno

de los procesos que llevan a cabo las industrias de metalurgia sujetas de análisis, así lo ha demostrado la conformidad de cada una de ellas.

5. De las pruebas realizadas, se pudo determinar que las muestras de metales proporcionadas por las empresas sujetos de análisis, se encuentran enmarcadas dentro de los parámetros aceptables de preparación de muestras, comportamiento de la estructura y metodología de medición, establecidas por las normas ASTM.
6. En una de las pruebas realizadas en las probetas que proporcionó la empresa Franz Viegner se obtuvo una gran similitud en los resultados, la empresa en mención realizaba un análisis electroquímico a fin de determinar los espesores de revestimiento de sus productos. Se obtuvo un margen muy pequeño entre los dos análisis, mediante el análisis electroquímico se obtuvo 2  $\mu\text{m}$  y con el CLEMEX PE se obtuvo 2.24  $\mu\text{m}$  sacando como conclusión que el software implementado es mucho más preciso que otros análisis.
7. Para el correcto uso del programa y un mayor aprovechamiento del mismo se elaboró un nuevo manual de prácticas acordes al programa implementado en el cual el mayor beneficiado de la nueva tecnología será el estudiante, teniendo una herramienta para una investigación más profunda en el área de la metalografía.
8. Financieramente el proyecto llevado a cabo, demostró su factibilidad en un 100%, principalmente por el valor agregado que significó el dotar de un equipo versátil al Laboratorio de Metalurgia, el cual permite apoyar la investigación de los estudiantes en el campo de metalografía.

## 7.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el personal encargado del laboratorio instruya a los estudiantes sobre las normas de uso y seguridad de l equipo a fin de evitar deterioro o daño en los equipos.
2. Antes de poner en funcionamiento el equipo, es importante verificar que la calibración entre la magnificación de los lentes y los píxeles de la pantalla sean los correctos con la finalidad de no distorsionar las imágenes reales.
3. Es importante que la Facultad de Ingeniería Mecánica difunda el servicio de realización de análisis metalográficos con la finalidad de apoyar las innovaciones técnicas que son muy necesarias en la metalúrgica del país.
4. Se recomienda que los estudiantes desarrollen nuevas investigaciones en el campo de metalurgia, ya que la profesión de ingeniería mecánica tiene innumerables aplicaciones en esta área.
5. Es muy importante que se utilice el equipo con sumo cuidado, bajo las condiciones de manejo y seguridad que se detallan en capítulos anteriores.
6. Elaborar un banco de ensayos de todas las muestras que se realicen dentro del laboratorio sean estas realizadas por los alumnos como a las empresas que se presten el servicio.
7. Elaborar una colección de microestructuras de todos los ensayos que se realicen en el laboratorio con el fin de poder caracterizar mejor a que pertenecen cada una de las micrografías tomadas.

8. Para poder definir mejor las microestructuras que se deseen observar, utilizar al momento del ataque químico los reactivos adecuados, sin olvidar las medidas necesarias de seguridad, ya que para algunos de ellos en la mayoría son elementos ácidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. “Annual Book of ASTM Standards”. Philadelphia, 2002. v3.
- Yu, M, Laj Tim. “Metalografía y tratamiento térmico de los metales”. Moscú Editorial Mir. pp. 9-112.
- Guliáv, A.P. “Metalografía”. Traducido del ruso por Ing. Antonio Molina García, 2da. ed. Moscú. Editorial Mir. 1983. v 1-2. 632 p.
- Kuzmin, BA y Samojotski AI. “Metalurgia, metrología y materiales de construcción”. Moscú. Editorial Mir. pp. 13-26.
- American Society for Metals. “Metals Handbook”, 3ra. ed. Ohio, 1988. v9. 775 p.
- Smith, W.F. “Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales”. Traducido del inglés por Jesús Martín Gil y Francisco J. Martín Gil. 2da. ed. Madrid. McGraw-Hill. 1993. 936 p.
- Askeland, D.R. “La ciencia e ingeniería de los materiales”. Traducido del inglés por Ing. J. Gonzalo Guerrero Zepeda. Grupo Editorial Iberoamérica. 1987. 556 p.
- Pástor M. “Introducción a la metalurgia de la soldadura”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Facultad de Ingeniería Mecánica, 165 p.
- Avner S.H. “Introducción a la metalurgia física”. Traducido del inglés por Lic. José Luis Estrada, 2da. ed. México. McGraw-Hill. 1988. 695 p.

- Cornelius A.J. “Metallography principles and procedures”. Miami. Leco Corporation. 2001. 70 p.
- Apraiz Barreiro J. “Fundiciones”. 6ta. ed. Madrid. Noriega editores. 1998. 168p.
- Capello E. “Tecnología de la fundición”.
- Arroyo, M.P. “Caracterización de Aceros estructurales de mayor comercialización a nivel nacional”. Tesis Ing. Mec. Sangolquí. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2004. 255 p.
- Mora, G.E. “Caracterización del Hierro Fundido producido por Metalurgia Andina MTA”, Tesis Ing. Mec. Sangolquí. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2004. 142 p.
- [www.cendi.org.mx](http://www.cendi.org.mx), Centro nacional para el desarrollo del acero inoxidable, español.
- [www.weldingjournal.com](http://www.weldingjournal.com) , Publicaciones sobre soldadura, Inglés