



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO  
NODULAR Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS EN FUNDICIONES LASSER DE LA CIUDAD  
DE AMBATO”**

---

**AUTOR:** José Miguel Lascano Arias

**TUTOR:** Ing. Mg. Juan Paredes

**AMBATO – ECUADOR**

**2014**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de Tutor de la presente Tesis de grado, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema “ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN FUNDICIONES LASSER DE LA CIUDAD DE AMBATO”, ejecutado por el señor José Miguel Lascano Arias, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico que la presente tesis fue elaborada en su totalidad por el autor y ha sido concluida en forma total, en apego al plan de tesis aprobado.

---

Ing. Mg. Juan Paredes

TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## **AUTORÍA DE DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN**

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada “ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN FUNDICIONES LASSER DE LA CIUDAD DE AMBATO”, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuestas originales, auténticas y de exclusiva responsabilidad del autor.

---

José Miguel Lascano Arias

C.I. 1802697944

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis se la dedico a mis padres, Giovanni y María Del Carmen, quienes me han apoyado a lo largo de toda mi carrera estudiantil, apoyándome en situaciones difíciles y guiándome por el mejor camino.*

*A mis hermanos, Giovanni, Christian, mis Abuelas, María, Elvia, mi abuelo Cesar, a un amigo que más que amigo es un hermano Santiago, quienes día a día me han dado su apoyo y consejos de superación.*

*A una persona muy especial, Anita, que gracias al apoyo brindado y palabras de aliento he salido adelante en esta carrera, a todas estas personas le dedico mi tesis.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco primero a Dios por darme la vida, a mis padres que han sido mi apoyo en momentos difíciles, a mis hermanos los cuales me han alentado a salir adelante en esta carrera.*

*A la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por permitirme ser parte de esta gran familia brindándome oportunidades de superación, a los docentes de la facultad que más que profesionales, son amigos, compartiendo sus conocimientos, especialmente al Ingeniero Juan Paredes por guiarme para la culminación exitosa de mi tesis.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### PÁGINAS PRELIMINARES

<i>PORTADA</i> .....	<i>i</i>
<i>CERTIFICACIÓN:</i> .....	<i>ii</i>
<i>AUTORÍA DE DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN</i> .....	<i>iii</i>
<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>iv</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	<i>v</i>
<i>ÍNDICE DE CONTENIDOS</i> .....	<i>vi</i>
<i>ÍNDICE DE ANEXOS</i> .....	<i>xii</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> .....	<i>xii</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i> .....	<i>xiii</i>
<i>ÍNDICE DE FICHAS</i> .....	<i>xiv</i>
<i>ÍNDICE DE GRÁFICOS</i> .....	<i>xv</i>
<i>RESUMEN</i> .....	<i>xvii</i>
<i>SUMMARY</i> .....	<i>xviii</i>

<b><i>CAPÍTULO I</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b><i>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b><i>1.1 TEMA:</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b><i>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b><i>1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b><i>1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO</i></b> .....	<b><i>3</i></b>
<b><i>1.2.3 PROGNOSIS</i></b> .....	<b><i>3</i></b>
<b><i>1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</i></b> .....	<b><i>3</i></b>
<b><i>1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES</i></b> .....	<b><i>4</i></b>
<b><i>1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</i></b> .....	<b><i>4</i></b>
<b><i>1.2.6.1 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO</i></b> .....	<b><i>4</i></b>
<b><i>1.2.6.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL</i></b> .....	<b><i>4</i></b>
<b><i>1.2.6.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL</i></b> .....	<b><i>4</i></b>
<b><i>1.3 JUSTIFICACIÓN</i></b> .....	<b><i>5</i></b>
<b><i>1.4 OBJETIVOS</i></b> .....	<b><i>5</i></b>

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	6
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS .....	7
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICAS.....	8
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL .....	9
2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	9
2.4.1 ACEROS.....	10
2.4.2 TIPOS DE HIERRO FUNDIDOS.....	13
2.4.3 ETAPAS DEL PROCESO DE LA FABRICACIÓN DE FUNDICIONES NODULARES.....	13
2.4.3.1 FUSIÓN .....	13
2.4.3.2 DESULFURACIÓN.....	14
2.4.3.3 NODULACIÓN.....	14
2.4.3.4 INOCULACIÓN.....	15
2.4.3.5 HORNO DE INDUCCIÓN.....	16
2.4.3.6 TIPOS.....	17
2.4.4 MECANISMOS DE FORMACIÓN DEL GRAFITO NODULAR.....	18
2.4.5 CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDICIONES NODULARES .....	19
2.4.6 HIERROS FUNDIDOS NODULARES.....	20
2.4.6.1 FUNDICIÓN DÚCTIL (O ESFEROIDAL).....	24
2.4.7 CHATARRA METÁLICA.....	27
2.4.7.1 CHATARRA RECICLADA .....	27
2.4.7.2 CHATARRA DE TRANSFORMACIÓN.....	28
2.4.7.3 CHATARRA DE RECUPERACIÓN .....	28
2.4.8 FERROSILICIO (LIGA).....	28
2.4.9 ARENAS DE MOLDEO .....	31
2.4.9.1 TIPOS DE ARENA DE MOLDEO.....	32
2.4.10 ENSAYOS DE TRACCIÓN .....	33
2.4.10.1 REQUERIMIENTOS DE ENSAYO A TRACCIÓN .....	35

2.4.10.2 TIPOS DE DEFORMACIONES .....	37
2.4.11 MICROESTRUCTURA.....	37
2.4.12 ENSAYO DE DUREZA.....	39
2.4.12.1 ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL .....	39
2.4.12.2 DUREZA BRINELL.....	41
2.4.13 ESPECTROMETRÍA DE CHISPA O ARCO.....	43
2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	44
2.6 HIPÓTESIS.....	45
2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	45
2.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	45
2.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	45
2.7.3 CONECTOR .....	45
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>46</b>
<b>LA METODOLOGÍA .....</b>	<b>46</b>
3.1 ENFOQUE.....	46
3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.3 NIVELES DE INVESTIGACIÓN .....	47
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	47
3.4.1 POBLACIÓN .....	47
3.4.2 MUESTRA.....	47
3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	49
3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	49
3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE .....	50
3.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	51
3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	51
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>53</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
4.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
4.1.1 DETERMINAR PARÁMETROS DE FUNDICIÓN.....	55
4.1.1.1 ARENA .....	55



4.1.1.2 HORNO.....	56
4.1.1.3 TEMPERATURA .....	56
4.1.1.4 MATERIAL.....	56
4.1.1.5 MOLDES.....	56
4.1.1.6 MEZCLADOR.....	57
4.2 OBTENCIÓN DE PROBETAS DE COMPARACIÓN DE HIERRO NODULAR .....	57
4.2.1 FUNDICIONES NODULARES.....	58
4.2.2 NORMAS DE PROBETAS .....	59
4.3 ENSAYOS.....	59
4.3.1 TRACCIÓN .....	60
4.3.2 ESPECTROMETRÍA .....	60
4.3.3 MICROESTRUCTURA.....	60
4.3.4 DUREZA .....	60
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
4.5 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	96
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>100</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>100</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	100
5.2 RECOMENDACIONES.....	101
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>104</b>
<b>PROPUESTA .....</b>	<b>104</b>
6.1 DATOS INFORMATIVOS.....	104
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	104
6.3 JUSTIFICACIÓN.....	105
6.4 OBJETIVOS .....	106
6.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	106
6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	106
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	106
6.5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	106

6.5.1.1 COSTOS DIRECTOS .....	107
6.5.1.2 COSTOS INDIRECTOS .....	107
6.5.2 ANÁLISIS TECNOLÓGICO.....	108
6.6 FUNDAMENTACIÓN.....	108
6.7 METODOLOGÍA.....	108
6.7.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA.....	109
6.7.1.1 DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA.....	110
6.7.2 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA.....	112
6.7.2.1 MATERIAL.....	112
6.7.2.2 SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	112
6.7.2.3 HORNO.....	113
6.7.2.4 PUNTO DE FUSIÓN .....	113
6.7.2.5 DESULFURACIÓN.....	114
6.7.2.6 INNOCULACIÓN.....	114
6.7.2.7 NODULACIÓN.....	114
6.7.2.8 FERROSILICIO- MAGNESIO.....	115
6.7.2.9 COLADA.....	115
6.7.2.10 VERTER EN MOLDES.....	116
6.7.2.11 ARENA .....	116
6.7.2.12 MOLDES.....	117
6.7.2.13 MEZCLADOR.....	117
6.7.2.14 OBTENCIÓN DE PROBETAS DE HIERRO NODULAR CON CHATARRA RECICLADA .....	118
6.7.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA.....	119
6.7.3.1 DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA.....	120

6.7.4	PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA.....	122
6.7.4.1	BÚSQUEDA DEL MATERIAL ADQUISICIÓN DEL MATERIAL.....	123
6.7.4.2	MAQUINADO DE LAS PROBETAS (TORNEADO).....	124
6.7.4.3	CORTE DE LAS PROBETAS.....	125
6.7.5	ENSAYO A TRACCIÓN.....	125
6.7.6	PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO METALOGRÁFICO DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA.....	128
6.7.6.1	PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	129
6.7.6.2	PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE PROBETA PARA ANÁLISIS METALOGRÁFICO.....	129
6.7.6.3	DESBASTE GRUESO.....	129
6.7.6.4	DESBASTE FINO.....	130
6.7.6.5	PULIDO.....	130
6.7.7	ATAQUE QUÍMICO.....	131
6.7.8	EVALUACIÓN Y RESULTADOS.....	132
6.7.9	PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE DUREZA DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA.....	136
6.7.9.1	REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE DUREZA.....	137
6.7.10	PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO ESPECTROMÉTRICO DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA.....	139
6.7.10.1	REALIZACIÓN DEL ENSAYO ESPECTROMÉTRICO.....	140
6.7.11	CONCLUSIÓN:.....	142
6.8	ADMINISTRACIÓN.....	142
6.9	PREVISIÓN DE EVALUACIÓN.....	147
6.10	BIBLIOGRAFÍA.....	148
	ANEXOS.....	151

## ÍNDICE DE ANEXOS

<i>ANEXO 1. CERTIFICADO DE ENSAYO DE ESPECTOMETRÍA.....</i>	<i>152</i>
<i>ANEXO 2. CERTIFICADO DE ENSAYO DE DUREZA .....</i>	<i>153</i>
<i>ANEXO 3. RESULTADOS DE ENSAYO DE DUREZA Y ESPECTOMETRÍA ENVIADOS POR NOVACERO.....</i>	<i>154</i>
<i>ANEXO 4. FORMATO DE TABLA DE ENSAYO A TRACCIÓN EN BLANCO .</i>	<i>155</i>
<i>ANEXO 5. FORMATO DE TABLA DE ENSAYO METALOGRÁFICO EN BLANCO .....</i>	<i>156</i>
<i>ANEXO 6. FORMATO DE TABLA DE ENSAYO DE DUREZA EN BLANCO .</i>	<i>158</i>
<i>ANEXO 7. FORMATO DE TABLA DE ENSAYO ESPECTROMÉTRICO EN BLANCO .....</i>	<i>159</i>
<i>ANEXO 8. NORMA PRÁCTICA PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS METALOGRÁFICAS .....</i>	<i>160</i>
<i>ANEXO 9. NORMA DE LA PRUEBA DE MÉTODOS PARA LA TENSIÓN DE MATERIALES METÁLICOS .....</i>	<i>172</i>
<i>ANEXO 10. NORMA DE MÉTODO DE PRUEBA DE DUREZA BRINELL .....</i>	<i>179</i>
<i>ANEXO 11. NORMA DE MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA EMISIÓN ÓPTICA DE VACÍO ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA DE CARBONO Y ACERO BAJA ALEACIÓN .....</i>	<i>188</i>
<i>ANEXO 12. PUNTOS PORCENTUALES SUPERIORES PARA LA DISTRIBUCIÓN <math>x^2</math>.....</i>	<i>197</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>2.4.1 CLASIFICACIÓN DE VARIAS ALEACIONES FÉRREAS.....</i>	<i>11</i>
<i>2.4.1.1 DIAGRAMA HIERRO - CARBONO.....</i>	<i>12</i>
<i>2.4.3.5 ETAPAS DE PROCESO DE FUNDICIONES NODULARES .....</i>	<i>15</i>
<i>2.4.6 MICROESTRUCTURA DE LA FUNDICIÓN NODULAR FERRÍTICO-PERLÍTICA.....</i>	<i>21</i>
<i>2.4.7 MATRIZ MARTENSÍTICA EN UN HIERRO NODULAR .....</i>	<i>21</i>
<i>2.4.8 HIERRO NODULAR.....</i>	<i>23</i>
<i>2.4.9 VISUALIZACIONES ÓPTICA DE VARIAS FUNDICIONES.....</i>	<i>25</i>

2.4.10 COMPOSICIONES DE LAS FUNDICIONES INDUSTRIALES DEL DIAGRAMA HIERRO - CARBONO .....	25
2.4.11 PROBETA A TRACCIÓN NORMALIZADA.....	34
2.4.12 MÁQUINA UNIVERSAL PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN .....	34
2.4.13 TIPOS DE PROBETAS PARA ENSAYO A TRACCIÓN NORMALIZADOS .....	36
2.4.14 FASES DE ALEACIÓN DE ALUMINIO-COBRE . .....	38
2.4.15 VISUALIZACIÓN DE SUPERFICIE ATACADA Y PULIDA DE ALEACIÓN HIERRO-CROMO .....	38
2.4.16 ESPECTRÓMETROS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X POR DISPERSIÓN DE ENERGÍA.....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

2.4.6 CLASIFICACIÓN DE LA FUNDICIÓN NODULAR TENIENDO EN CUENTA SUS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM A-536.....	22
2.4.6.1 DESIGNACIÓN, PROPIEDADES MECÁNICAS, COMPOSICIONES APROXIMADAS Y APLICACIONES TÍPICAS DE VARIAS FUNDICIONES GRISES, DÚCTILES, Y MALEABLES .....	26
2.4.6.2 RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA PARA HIERROS FUNDIDOS TÍPICOS SIN ALEAR. ....	27
2.4.8 TIPOS DE FERROSILICIO-MAGNESIO. ....	30
2.4.9.1 TAMAÑO DE GRANO DE ACUERDO A TIPO DE ARENA.....	33
2.4.12.1 TÉCNICAS DE ENSAYO DE DUREZA. ....	40
2.4.12.2 ESCALA DE DUREZA ROCKWELL .....	40
2.4.12.3 ESCALA DE DUREZA ROCKWELL SUPERFICIAL .....	41
3.4.14.4 COMPOSICIÓN DE VARIAS ESCALAS DE DUREZA .....	42
3.4.2 TAMAÑO DE MUESTRA DE INVESTIGACIÓN .....	48
3.4.3 DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS PARA CADA ENSAYO .....	48
3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	49
3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE .....	50
3.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	51

4.2.1 PROCESO DE FUNDICIÓN DE HIERRO NODULAR EN FUNDICIONES LASSER .....	58
4.2.2 MEDIDAS DE PROBETAS ESTANDARIZADAS .....	59
4.5 RESULTADOS DE HIERRO FUNDIDO NODULAR DE ACUERDO A TIPO DE CHATARRA USADA .....	96
4.5.1 DATOS BASE PARA VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	96
4.5.2 VALORES OBSERVADOS Y ESPERADOS PARA RESISTENCIA A TRACCIÓN EN PROBETAS DE HIERRO NODULAR .....	97
4.5.3 VALORES OBSERVADOS Y ESPERADOS PARA PORCENTAJE DE ELONGACIÓN EN PROBETAS DE HIERRO NODULAR .....	98
6.5.1.1 COSTOS DIRECTOS .....	107
6.8 COSTOS DE REALIZACIÓN DE TESIS .....	142
6.8.1 COSTOS DE ENSAYO .....	144
6.8.2 COSTO DE ENSAYO DE TRACCIÓN .....	144
6.8.3 COSTO DE ENSAYO METALOGRAFICO .....	145
6.8.4 COSTO DE ENSAYO DE DUREZA .....	145
6.8.5 COSTO DE ENSAYO ESPECTROMÉTRICO .....	146
6.8.6 COSTO POR KILOGRAMO DE FUNDICIÓN NODULAR .....	146
6.8.7 COSTO DE TIPO DE ENSAYO EN USD .....	147

## ÍNDICE DE FICHAS

4.4 DATOS INFORMATIVOS.....	61
4.4.1 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°1.....	62
4.4.2 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°2.....	63
4.4.3 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°3.....	64
4.4.4 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°4.....	65
4.4.5 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°5.....	66
4.4.6 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°6.....	67
4.4.7 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°7.....	68
4.4.8 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°8.....	69

4.4.9 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°9.....	70
4.4.10 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°10.....	71
4.4.11 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°11.....	72
4.4.12 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°12.....	73
4.4.13 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°13.....	74
4.4.14 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°14.....	75
4.4.15 ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°15.....	76
4.4.16 ENSAYO METALOGRÁFICO PROBETA N°4.....	77
4.4.17 ENSAYO METALOGRÁFICO PROBETA N°8.....	79
4.4.18 ENSAYO METALOGRÁFICO PROBETA N°12.....	81
4.4.19 GRÁFICA DEFORMACIÓN - ESFUERZO GRUPO 1.....	83
4.4.20 GRÁFICA PROMEDIO DEFORMACIÓN - ESFUERZO GRUPO 1.....	84
4.4.21 GRÁFICA DEFORMACIÓN - ESFUERZO GRUPO 2.....	85
4.4.22 GRÁFICA PROMEDIO DEFORMACIÓN - ESFUERZO GRUPO 2.....	86
4.4.23 GRÁFICA DEFORMACIÓN - ESFUERZO GRUPO 3.....	87
4.4.24 GRÁFICA PROMEDIO DEFORMACIÓN - ESFUERZO GRUPO 3.....	88
4.4.25 GRÁFICA DEFORMACIÓN - ESFUERZO MAYOR DE TRES GRUPOS	89
4.4.26 ENSAYO DE DUREZA PROBETA N°4 .....	90
4.4.27 ENSAYO DE DUREZA PROBETA N°8 .....	91
4.4.28 ENSAYO DE DUREZA PROBETA N°12 .....	92
4.4.29 ENSAYO ESPECTROMÉTRICO PROBETA N°2 .....	93
4.4.30 ENSAYO ESPECTROMÉTRICO PROBETA N°8 .....	94
4.4.31 ENSAYO ESPECTROMÉTRICO PROBETA N°12 .....	95
6.7.5 RESULTADO ENSAYO TRACCIÓN PROBETA N°12 .....	127
6.7.6 RESULTADO ENSAYO METALOGRÁFICO PROBETA N°12 .....	134
6.7.7 RESULTADO ENSAYO DE DUREZA PROBETA N°12 .....	138
6.7.7 RESULTADO ENSAYO ESPECTROMÉTRICO PROBETA N°12 .....	141

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

4.1.1.1 ARENA SÍLICE.....	55
4.1.1.4 MATERIA PRIMA PARA LA FUNDICIÓN .....	56
4.1.1.5 PREPARACIÓN DE MOLDES PARA LA FUNDICIÓN.....	57

4.1.1.6 MEZCLADOR DE ARENAS .....	57
4.5 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS RELACIONADO A LA RESISTENCIA A TRACCIÓN .....	97
4.5.1 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS RELACIONADO AL PORCENTAJE DE ELONGACIÓN .....	98
6.7.2.1 MATERIA PRIMA PARA EL PROCESO .....	112
6.7.2.2 RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA .....	113
6.7.2.3 SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	113
6.7.2.4 METAL FUNDIDO .....	114
6.7.2.8 FERROSILICIO- MAGNESIO.....	115
6.7.2.9 METAL FUNDIDO LISTO PARA VERTER.....	115
6.7.2.10 COLADO DE METAL.....	116
6.7.2.11 ARENA SÍLICE MALLA 80.....	116
6.7.2.12 CAJA DE ACERO.....	117
6.7.2.13 MEZCLADOR DE ARENA .....	117
6.7.2.14 EJE HIERRO NODULAR .....	118
6.7.4.1 EJES DE HIERRO NODULAR SALIDO DEL MOLDE.....	123
6.7.4.2 MAQUINADO EJES DE HIERRO NODULAR. ....	124
6.7.4.3 PROBETA DE HIERRO NODULAR.....	125
6.7.5 ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETA DE HIERRO NODULAR.....	126
6.7.6.1 PROBETAS ENSAYOS METALOGRAFICOS .....	129
6.7.6.4 DESBASTE FINO .....	130
6.7.6.5 PULIDO .....	131
6.7.6.6 SUPERFICIE PULIDA .....	131
6.7.7 ATAQUE QUÍMICO .....	132
6.7.8 VISUALIZACIÓN MICROSCÓPICA DE PROBETAS.....	133
6.7.9 PROBETAS REALIZADAS ENSAYO DE DUREZA .....	137
6.8.5 COSTO DE TIPO DE ENSAYO EN USD .....	147



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTA DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA**

**ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN FUNDICIONES LASSER DE LA CIUDAD DE AMBATO.**

**Autor:** José Miguel Lascano Arias.

**Tutor:** Ing. Mg. Juan Paredes

### **RESUMEN**

Para la elaboración de este proyecto se utilizó los materiales obtenidos de chatarra reciclada, de transformación y de recuperación, generando datos de fichas de análisis de ensayos de tracción, metalografía, dureza y espectrometría que serán de suma importancia en su elaboración, para lo cual se ha caracterizado bajo Normas ASTM llegando a la conclusión de que para producir un hierro fundido nodular de calidad se debe elaborar como materia prima, la chatarra reciclada con la cual hemos obtenido resultados favorables, alcanzando así valores tales como: Resistencia última a tracción de 71819.21PSI, carga aplicada 6417.9 kg, tamaño de grano, el nódulo de mayor tamaño 59.075  $\mu\text{m}$ , el nódulo promedio 46.438  $\mu\text{m}$ , está constituida de grafito nodular en porcentajes de 16.7%, Perlita 39% y Cementita 44.2%, respectivamente, con una dureza de 178 HB y porcentajes de aleantes especialmente de hierro 87.89% y carbón con porcentajes de 6.573%.

#### **Palabras Claves:**

Hierro Nodular, Chatarra: Reciclada, Transformación, Recuperación.

**AMBATO TECHNICAL UNIVERSITY**

**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS**

**MECHANICAL ENGINEERING CAREER**

**ANALYSIS OF THE PROCESS OF OBTAINING NODULAR IRON AND  
ITS IMPACT ON THE MECHANICAL PROPERTIES IN FOUNDRIES  
LASSER CITY OF AMBATO**

**Author:** José Miguel Lascano Arias.

**Advisor:** Ing. Mg. Juan Paredes.

**SUMMARY**

For the development of this project, I used materials obtained from scrap recycled, processing and recovery, generating data analysis sheets tensile testing, metallography, hardness and spectrometry, which will be important in their preparation for what has been characterized under ASTM Standards, concluding that to produce a quality nodular cast iron should be developed as a raw material with recycled scrap which have obtained propitious results, reaching values like: last resistance traction (71819.21 PSI), applied load (6417.9 kg), grain size, the larger nodule size 59.075 microns, the average nodule 46.438 microns, is made of nodular graphite in volume percentages of 16.7%, 39% Pearlite, and 44.2% Cementite, respectively, with a hardness of 178 HB and especially alloying percentages of 87.89 % iron and carbon with percentages of 6.573%.

**Keywords:**

Nodular Iron, Scrap Metal: Recycled, Processed, Recovery.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 TEMA:**

“ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN FUNDICIONES LASSER DE LA CIUDAD DE AMBATO.”

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

La forma redondeada del grafito nodular reduce la concentración de la tensión y, en consecuencia, el material es mucho más dúctil que el hierro gris. El hierro nodular se suele utilizar en piezas de bombas que sufren elevadas cargas.

A nivel mundial el hierro nodular contiene alrededor del 0.03-0.05% en peso de magnesio. El magnesio provoca que las escamas se hagan globulares de tal forma que el grafito se disperse por una matriz de ferrita o perlita en forma de esferas o nódulos. Los nódulos de grafito no son afilados. La forma redondeada del grafito nodular reduce la concentración de la tensión y, en consecuencia, el material es mucho más dúctil que el hierro gris haciéndolo mucho más eficiente. El hierro nodular normalmente se utiliza para piezas de bombas que requieren alta resistencia (aplicaciones de alta presión o alta temperatura) útil para aplicaciones industriales.

En América en años recientes, los fabricantes y usuarios de las fundiciones de hierro nodular han observado el uso potencial de este material, como consecuencia del extenso campo de propiedades mecánicas que ofrecen. Desde su

introducción comercial en 1948, las fundiciones de hierro nodular han sido una alternativa en cuanto a costo de fabricación con respecto a las aleaciones con cierta ductilidad, las fundiciones de acero, las piezas forjadas y otros tipos de materiales.

Las fundiciones de hierro nodular son aplicadas en diferentes regiones geográficas y especialmente son empleadas en cada campo de la ingeniería, dichas fundiciones son nombradas de diferente manera, por ejemplo, hierros nodulares o hierros dúctiles; en este trabajo se hace referencia a estas fundiciones como hierros nodulares.

“Como se explicó, los hierros nodulares se convirtieron en una realidad industrial en 1948 y fueron producto de un tratamiento realizado en la fusión del hierro gris, lo que causó que el grafito que estaba presente en forma de hojuelas, se transformará en forma de esferas o nódulos. La forma nodular del grafito redujo el efecto de agrietamiento cuando el material es sometido a cargas cíclicas, y por lo tanto, aumentó la resistencia a la fatiga, debido a que las esferas actúan como arrestadores de grietas.” [12] (Acosta & Martínez, López, 2000: pp. 1-2)

“Las propiedades mecánicas de las fundiciones nodulares dependen de la microestructura de la matriz y de las características morfológicas del grafito. Una característica que se puede observar fácilmente es la morfología de la matriz, porque dependiendo de la aplicación final de la pieza a fabricar se puede controlar la velocidad de enfriamiento o se pueden adicionar elementos de aleación que ayuden a obtener la matriz deseada. Aun así, las características morfológicas del grafito se obtienen durante su solidificación y no es posible modificarlas con posteriores tratamientos térmicos (Grong, et al., 1993).

Tanto el conteo de nódulos como la nodularidad (grado de redondez) se obtienen mediante tratamientos químicos en estado líquido (Heine, 1967) (Mesa Grajales, 2004) y a nivel industrial puede ocurrir un fenómeno de desvanecimiento o *fading*, en el cual debido al tiempo que se demora el proceso hasta vaciar la colada en los moldes, se pierden puntos de nucleación del grafito y el magnesio pierde su

efecto dando paso a un menor conteo y al crecimiento de grafito en forma de hojuelas.

Actualmente a nivel de Latinoamérica existen muchos estudios que evalúan la influencia del proceso de *fading* en la morfología de los nódulos de grafito, pero la mayoría de ellos se llevan a cabo bajo condiciones de laboratorio (Gundlach, 2006) (Imasogie, et al., 2004) (Gonzaga, et al., 2009) (Perdersen, et al., 2008) (Bockus, et al., 2009) lo cual deja aparte variables como la pérdida de temperatura de la colada durante el vaciado en diferentes moldes.” [10] (Murcia, 2012: pp. 2-3)

### **1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO**

Debido a una limitada investigación de las fundiciones nodulares especialmente en cuanto a la resistencia a la tracción, no se ha podido obtener un producto que cumpla las propiedades necesarias para un desenvolvimiento adecuado en aplicaciones mecánicas.

Este tipo de fundición nos permitió una mayor resistencia y tenacidad, se presentó como pequeñas bolas o esferas las cuales interrumpen con menor brusquedad la continuidad que las hojuelas de grafito de un hierro gris.

Dicha fundición nos brindó propiedades mucho mejores que las de otro tipo, por tal razón nos interesó adentrarnos en este estudio, para determinar parámetros de resistencia más altos para una buena aplicación industrial.

### **1.2.3 PROGNOSIS**

La falta de análisis del proceso de obtención en el área de fundiciones limitaría el desarrollo industrial en Fundiciones Lasser.

### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿El análisis del proceso de obtención del hierro nodular va a mejorar sus propiedades mecánicas en Fundiciones Lasser de la ciudad de Ambato?

### **1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES**

- ¿Qué composición química será la adecuada para la fundición nodular de mayor resistencia?
- ¿Qué tipos de chatarra es la más adecuada para mejorar la resistencia a tracción y microestructura?
- ¿Qué microestructura posee cada probeta y cuál es la más resistente a tracción?

### **1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.2.6.1 Delimitación de contenido**

Dicha investigación se encuentra dentro del campo de Ingeniería Mecánica, los datos iniciales que se mostraron para dicha investigación fueron tomados de biblioteca física, laboratorios, internet, empleando normas y documentos que fueron la base para una mejor investigación.

#### **1.2.6.2 Delimitación espacial**

La presente investigación para obtener mejoras en las fundiciones nodulares basadas en análisis metalográfico y ensayos de tracción fueron elaborados en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, laboratorios de carrera de Ingeniería Mecánica, campus Huachi y las probetas se elaboraron en Fundiciones Lasser.

#### **1.2.6.3 Delimitación temporal**

La ejecución de esta investigación sobre el estudio para el mejoramiento de hierro nodular y su incidencia en la resistencia a tracción y cambio en microestructura en fundiciones Lasser se realizó durante el periodo establecido Abril 2013 – Enero 2014.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Las fundiciones nodulares con diferentes porcentajes de aleaciones las diferencian del resto en su microestructura, una aleación mejorada en este tipo de fundición ayudó de gran manera en las propiedades mecánicas, las cuales van a ser modificadas.

El manejo de normas para los diferentes parámetros de las fundiciones jugó un papel muy importante ya que de esto depende que un producto cumpla con las condiciones deseadas en la industria mecánica, las cuales por medio del estudio se caracterizó el tipo de aleación adecuada.

Para desarrollar este tipo de fundiciones se necesitó de nuevas tecnologías, y diferentes tipos y porcentajes de aleaciones, que dan lugar a nuevas propiedades mecánicas y físicas obteniendo material de calidad los cuales serán utilizados por los ingenieros actuales.

Los nuevos tipos de fundiciones nodulares, se presentaron como una nueva alternativa de ingeniería las cuales ayudaron en gran parte al desenvolvimiento de la población actualmente, así los parámetros y características de este tipo de fundición mejorada ayudarán a futuro a un producto confiable.

Por medio del apoyo de Fundiciones Lasser y de la Universidad Técnica de Ambato, Laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica, dicha investigación fue factible de realizarla, la cual ayudó a la industria mecánica en la provincia de Tungurahua, y se aportó con conocimiento para la Facultad de Ingeniería Mecánica.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivo general**

- Analizar el proceso de obtención del hierro nodular y su incidencia en las propiedades mecánicas en Fundiciones Lasser de La Ciudad de Ambato.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar qué tipo de chatarra es la más adecuada para mejorar la resistencia a tracción, microestructura y dureza.
- Determinar la microestructura de cada probeta realizada, su resistencia máxima a tracción y su dureza.
- Determinar la composición química adecuada de la fundición nodular con mayor resistencia a tracción.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS**

“La fundición de metales es una tecnología prehistórica, pero que aparece recientemente en los registros de la arqueología. Nació cuando los antiguos usaron las tecnologías del fuego, llamadas piro tecnologías las cuales proveían las bases del desarrollo de la fundición.”

“Se usó el calor para lograr hierro esponjoso y el barro quemado para producir cerámica.”

Algunos de los antiguos objetos metálicos que conocemos se calcula que tienen más de 10000 años y no se produjeron por fusión, sino que fueron forjados; eran pequeños pendientes y collares, los cuales fueron martillados de pepitas de cobre nativo y no requirieron soldadura. El periodo arqueológico en el cual el trabajo del metal tomó lugar, fue el Neolítico.”

Los metales nativos fueron considerados como piedras en sí, una piedra diferente al resto y usaron los mismos métodos de trabajo empleados con la piedra. Un ejemplo es el cobre el cual empezó a ser trabajado como una piedra, la aparición del hierro esponja y de cerámicos en el Neolítico, es una clara muestra de que el fuego fue usado para otros tipos de material incluido la piedra.

La fecha exacta del inicio de la fundición como proceso no se conoce.

“Todo parece indicar que el hierro fue descubierto bajo el mandato del emperador chino FOU-HI aproximadamente en el año 5000 A.C.”

La búsqueda de materiales de mejor calidad, debía cumplir con la necesidad de fabricar herramientas y armas las cuales el hombre prehistórico asegurará su supervivencia y la competencia con los animales y el medio. Los arqueólogos a este periodo lo denominan calcolítico en el cual dominaron los metales y así adelanta a la edad de bronce, aproximadamente entre el 5000 y 3000 A.C.

El estudio de algunos objetos antiguos nos da una pauta de que la forja del metal se conoció antes de desarrollar la fusión de metales; los hornos eran rudimentarios, sin embargo el ingenio demuestra gran habilidad al momento de elevar temperaturas solamente usando al carbón de leña como combustible.

Los moldes usados eran de piedra. Se aplicó al trabajo de piro tecnología el uso de la piedra. Las que se tallaban tenían textura blanda, como la esteatita y la andesita. Muchos objetos que se obtenían eran de moldes abiertos y no siempre elaborados para objetos planos, algunos moldes eran multitrabajo y tenían cavidades talladas en cada lado del bloque de piedra.

En la edad de bronce inicialmente, se trabajaron a la mayoría de materiales por martilleo en frío, las cuales se usaron para fabricar armas y herramientas.

No se sabe a ciencia cierta como el fuego se hizo presente para el trabajo de los metales, pero existen hipótesis que a esto se le debe al azar, donde accidentalmente un incendio forestal fue el causante de elevar las temperaturas necesarias para reducir rocas metalíferas, obteniendo así materia prima para trabajar los metales. [13] (Troncoso, 2013: pp. 7-8)

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICAS**

La investigación se basa en el paradigma crítico-propositivo por la razón que este permite establecer una comprensión abierta, reflexiva, pura y principalmente útil que nunca termina.

Esta investigación tiene una infinidad de temas que están comprendidas por los valores, ayudando a tener nuevas alternativas de conocimiento que asume el investigador para dicho problema.

Este va a permitir tener varias alternativas para aplicar y emplear las fundiciones nodulares en la industria buscando soluciones y mejoras para un desenvolvimiento más amplio y de mejor calidad.

Obteniendo por medio de este proceso una gran cantidad de productos necesarios para múltiples aplicaciones industriales.

## **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

Dicha investigación se realizará tomando en cuenta normas técnicas, como:

### **Normas ASTM**

**ASTM E-3** Norma práctica para la preparación de Muestras Metalográficas

**ASTM E-7** Norma de la terminología que relaciona a la Metalografía

**ASTM E 8 - 04** Norma de la prueba de Métodos para la Tensión de Materiales Metálicos

**ASTM E-112** Norma de Ensayos para determinar el Tamaño de Grano

**ASTM E-10** Norma de Método de prueba de dureza Brinell.

**ASTM E-18** Norma de Método de prueba de dureza Rockwell.

**ASTM E-415** Norma Método de prueba estándar para la emisión óptica de vacío análisis de espectrometría de Carbono y Acero baja Aleación

**NTE INEN 2499:2009** Fundición Nodular (Hierro Dúctil) Requisitos

## **2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES**

“La disciplina ciencia de los materiales implica investigar la relación entre la estructura y las propiedades de los materiales. Por el contrario, la ingeniería de los materiales se fundamenta en las relaciones propiedades - estructura y diseño o

proyecta la estructura de un material para conseguir un conjunto predeterminado de propiedades.

La estructura es un término confuso que necesita alguna explicación. Normalmente la estructura de un material se relaciona con la disposición de sus componentes internos. La estructura subatómica implica a los electrones dentro de los átomos individuales y a las interacciones con su núcleo.

La propiedad necesita cierta elaboración, un material en servicio está expuesto a estímulos externos que provocan algún tipo de respuesta.” [1](Callister, 1995: pp.9-10)

#### **2.4.1 ACEROS**

Los aceros son aleaciones hierro-carbono con diferentes concentraciones de otros aleantes apreciables. Existen gran cantidad de aceros los cuales están compuestos de distintas composiciones y/o tratamientos térmicos. Las propiedades mecánicas dependen del contenido de carbono, que suele ser inferior al 1%. Los aceros más comunes se clasifican de acuerdo al contenido de carbón: bajo, medio, alto en carbón. Además, en cada grupo existen subclases de acuerdo con la concentración de otros elementos de aleación. Los aceros al carbono solo contienen concentraciones residuales de impureza distintas al carbono. En los aceros aleados, los elementos de aleación se añaden intencionalmente en concentraciones específicas.

## CLASIFICACIÓN DE VARIAS ALEACIONES FÉRREAS

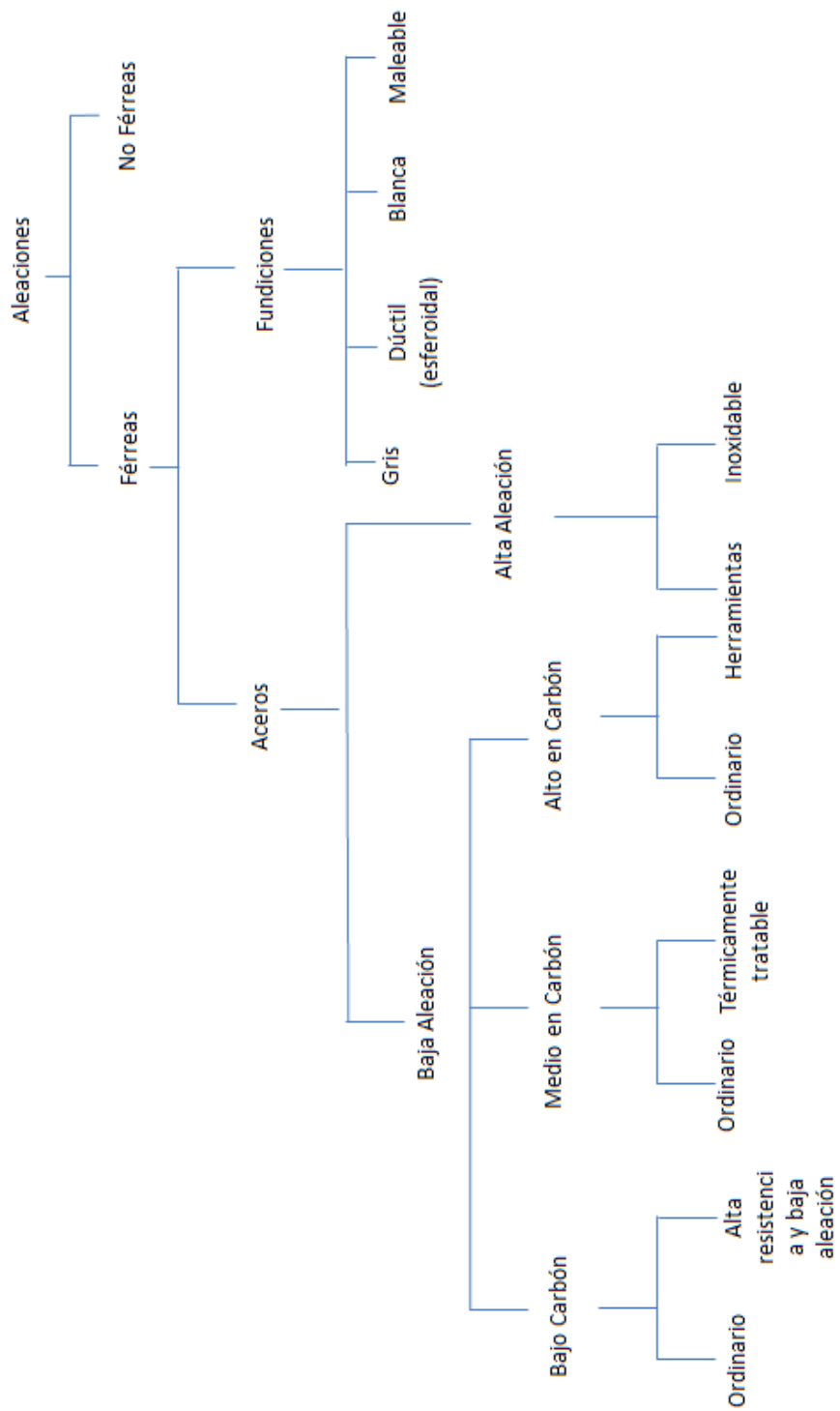


Figura 2.4.1. Clasificación de varias aleaciones férreas  
Fuente: [1] (Callister, 1995: pp. 10-11)

## DIAGRAMA HIERRO – CARBONO

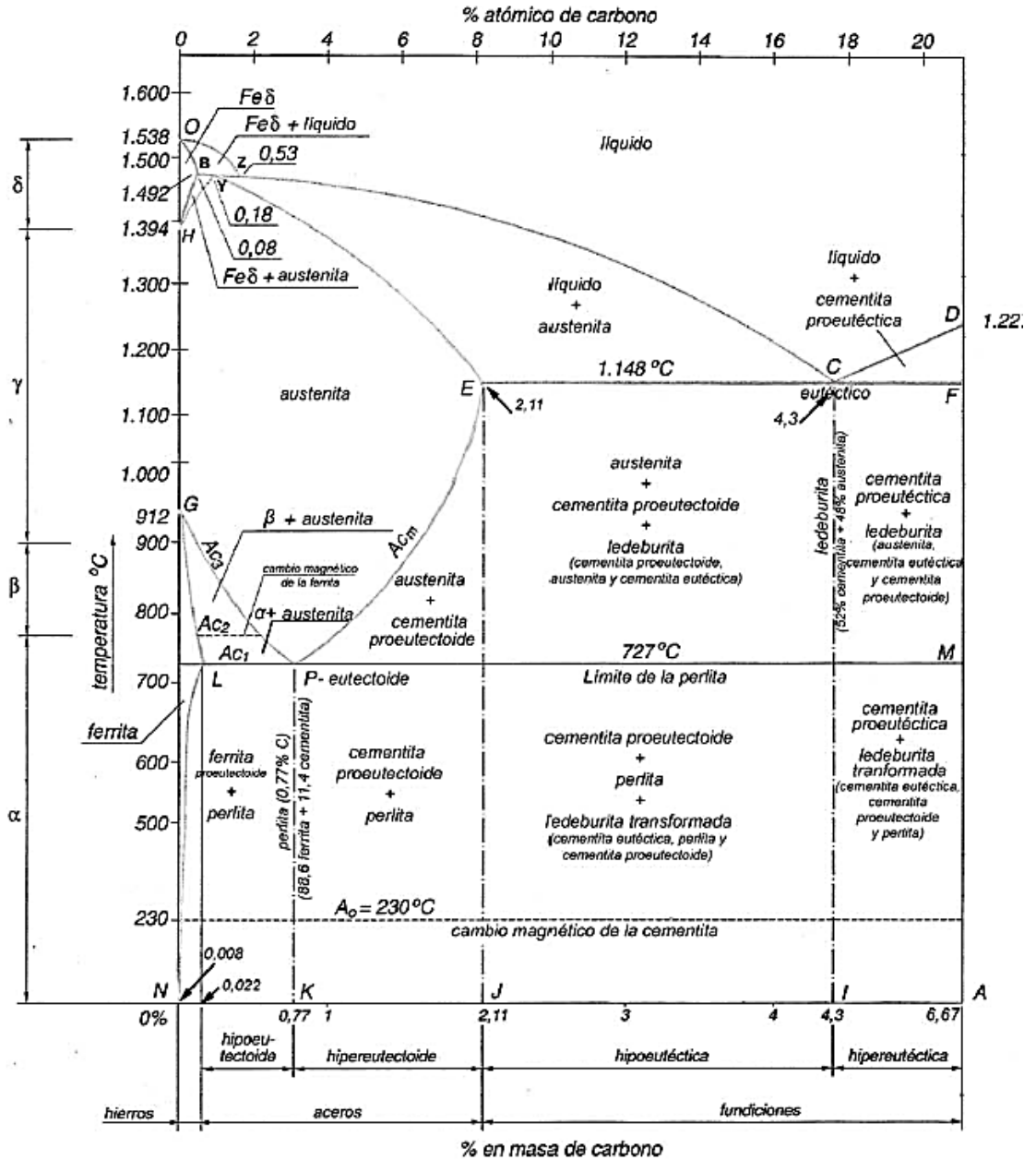


Diagrama hierro-carbono. Zonas, puntos y líneas más significativas

**PUNTOS CRÍTICOS**

- $A_0 = 230 \text{ }^\circ\text{C}$  (Curie).
- $Ac_1 = 727 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- $Ac_2 = 768\text{-}770 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- $Ac_3 = 727\text{-}912 \text{ }^\circ\text{C}$  (línea PG).
- $Ac_m = 727\text{-}1.148 \text{ }^\circ\text{C}$  (línea PE).

**LÍNEAS DE INTERÉS**

- ECF
- OBECF
- OBCE (líquidos)
- GPE
- LPM
- GLN
- PK
- EJ
- CI (Eutéctica-*ledeburita*)

**PUNTOS DE INTERÉS**

- C, E, P, A, B
- ZONAS DE INTERÉS**
- BCEB
  - CDFC
  - HBEPGH
  - GLN

*cementita proeutéctica y eutéctica = cementita primaria*  
*cementita proeutectoide = cementita secundaria*

**Figura 2.4.1.1 Diagrama Hierro Carbono**  
 Fuente: [14] (Jiménez. 2013: p. 12)

## 2.4.2 TIPOS DE HIERRO FUNDIDOS

“**Hierro fundido gris:** forma de hierro nodular que, durante la solidificación, permite que crezcan hojuelas de grafito, causando baja resistencia mecánica y una mala ductilidad.”

“**Hierro fundido dúctil:** el tratado con magnesio para hacer que se precipite el grafito durante la solidificación en forma de esferas, dando resistencia y ductibilidad excelentes. También se le conoce como hierro nodular.”

“**Hierro fundido blanco:** hierro fundido que produce cementita en vez de grafito durante la solidificación. Los hierros blancos son duros y frágiles.”

“**Hierro fundido maleable:** forma de hierro fundido obtenida mediante un tratamiento térmico largo, durante el cual la cementita se descompone para producir agregados redondeados de grafito. Se obtiene, como resultado de esta estructura, buena resistencia y ductilidad.” [2] (Askeland, 1999: p. 13)

## 2.4.3 ETAPAS DEL PROCESO DE LA FABRICACIÓN DE FUNDICIONES NODULARES

Las fundiciones nodulares presentan cuatro etapas:

- ✓ Fusión.
- ✓ Desulfuración.
- ✓ Nodulización.
- ✓ Inoculación.

### 2.4.3.1 Fusión

Corresponde al proceso de fundición del grafito esferoidal, dicho proceso se realiza en diferentes tipos de horno como son por ejemplo: Horno de arco, un Horno de Cubilote ácido, Horno de Inducción.

El hierro (Fe) es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8 de la tabla periódica de los elementos (Peso atómico 55.85g/mol) y Punto de Fusión a 1536°C.

Temperatura máxima de horno de inducción 1850°C.

#### **2.4.3.2 Desulfuración**

“Es muy importante que el material de carga contenga la menor cantidad posible de Azufre, ya que el Magnesio tiene gran afinidad no solamente con el Oxígeno, sino también con el Azufre y, por lo tanto al combinarse con éste último, no se dispondrá de Magnesio necesario para la desoxidación del hierro colado y eventualmente para otros fines. Un contenido, lo más bajo posible, de Azufre en la fundición líquida para elaborar la esferoidal es también de gran importancia práctica, por cuanto tras el tratamiento metalúrgico ha de desescoriarse el caldo, es decir, separar la escoria de la combinación Magnesio-Azufre y Magnesio-Oxígeno.”

La experiencia demuestra que el bajo contenido de Azufre permite escoriar hasta el máximo posible. Los productos de reacción (sulfuros, óxidos y también silicatos) hace mucho más difícil el llenado de moldes y a la vez daña la calidad de piezas fundidas cambiando las propiedades mecánicas del material colado hasta el extremo de hacer inutilizable la pieza si antes de que solidifique el caldo no se consigue la separación de aquellos.

#### **2.4.3.3 Nodulación**

La formación del grafito esferoidal se logra mediante la adición de pequeñas cantidades de Magnesio o Cerio, esta inclusión se verifica antes de colar el metal, es notable que la adición de estos aleantes no garantiza una nodulación o una formación de esferas adecuados, si no que depende también de la velocidad de enfriamiento, tipo de enfriamiento, y el origen de la materia prima de buena calidad.

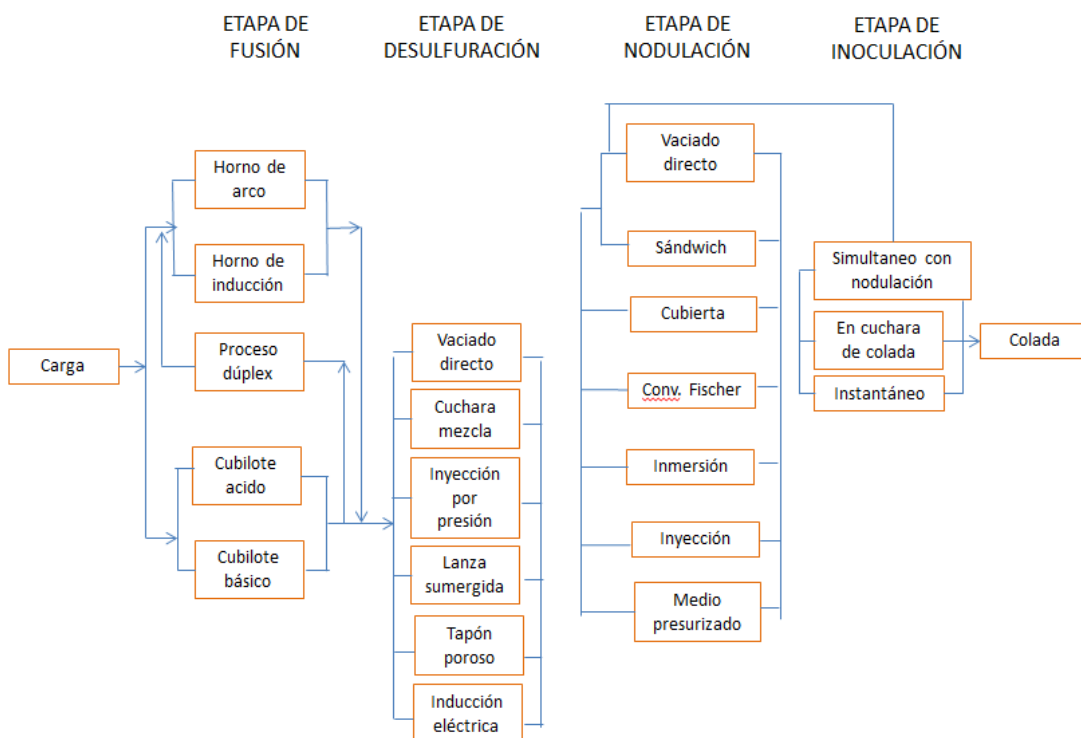


### 2.4.3.4 Inoculación

“La inoculación consiste en añadir al metal fundido en el momento de colar, bien en el canal de colado o cuando cae ya en la cuchara, ciertas aleaciones gratificantes y desoxidantes como ferro-silicio, siliciuro cálcico, etc.”

“En la práctica industrial se emplean diversas clases de inoculantes, pero el método operatorio en casi todos los casos es muy parecido.

Dicho de otra forma; la inoculación consiste en someter la fundición nodulizada a un tratamiento especial con el fin de evitar que pase parcial o totalmente a fundición blanca e impedir que los nódulos se disuelvan en el baño metálico fundido desvaneciéndose la acción nodulizante del Magnesio. Este proceso se realiza cada vez que el metal sale del horno en el chorro o en la cuchara los inoculantes más empleados son: Ferrosilicio (FeSi), el Ferrosilicio cromo (FeSiCr), el silicato de calcio ( $\text{CaSiO}_3$ ), etc.”



**Figura 2.4.3.5 Etapas de proceso de fundiciones nodulares**  
Fuente: [21] (Bojak, Y. 2010: pp. 13-15)

#### **2.4.3.5 Horno de Inducción**

“Para hablar de hornos de inducción, hay que remontarse a los años 50s, cuando la industria de la fundición se da cuenta de las ventajas económicas de los sistemas eléctricos frente a la producción con otras clases de hornos. A mediados de los años 70s, se convierten en la mejor opción para fundir materiales ferrosos y no ferrosos y en los 80s surgen unidades de alta potencia y frecuencia que demuestran mayor eficiencia y productividad.

Convirtiéndose así, en la manera preferida de fundir metales.

Básicamente, los hornos de inducción son equipos eléctricos que utilizan una corriente inducida para fundir la carga (material). Es decir, consisten en una unidad de potencia o inversor que inyecta corriente de frecuencia alterna y variable a una bobina, la cual contiene una sección de cobre reforzado y alta conductividad maquinada en forma helicoidal; la corriente que pasa por la bobina forma un campo electromagnético.

La fuerza y magnitud de este campo varía en función de la potencia y corriente que pasa a través de la bobina y su número de espiras.

La energía calorífica se logra por efecto la corriente alterna y el campo electromagnético que generan corrientes secundarias en la carga; el crisol es cargado con material, que puede ser chatarra, lingotes, retornos, virutas u otros. Cuando el metal es cargado en el horno, el campo electromagnético penetra la carga y le induce la corriente que lo funde; una vez la carga esta fundida, el campo y la corriente inducida agitan el metal, la agitación es producto de la frecuencia suministrada por la unidad de potencia, la geometría de la bobina, densidad, permeabilidad magnética y resistencia del metal fundido.

El rango de capacidades de los hornos de inducción abarca desde menos de 1 kilogramo, hasta 320 toneladas y son utilizados para fundir toda clase de metales ferrosos y no ferrosos, incluso metales preciosos.

El rango de frecuencias de operación de los hornos de inducción va desde la frecuencia de red (50 o 60 Hz) hasta los 10 KHz, en función del metal que se quiere fundir, la capacidad del horno y la unidad del inversor.

Frecuencias menores generan más turbulencias en el metal y reducen la potencia que puede aplicarse al metal fundido”.

#### **2.4.3.6 Tipos**

“Existen dos tipos básicos de hornos de inducción: el horno sin núcleo, de alta frecuencia, el cual consta en un crisol totalmente rodeado de una bobina de cobre, enfriada por agua, a través de la cual pasa la corriente que genera el campo magnético, lo que calienta el crisol y funde el metal en su interior.

Estos hornos se emplean prácticamente con todas las aleaciones ordinarias, su temperatura máxima sólo está limitada por el refractario y la eficacia del aislamiento frente a las pérdidas del calor. Los sistemas de alta frecuencia facilitan un buen control de la temperatura y la composición, cuentan con capacidades desde 3.0 onzas, para fundir oro, hasta 320 toneladas, para galvanización de zinc, y su gran ventaja es que no contaminan y producen un metal muy puro. Dado que se presenta una fuerte acción de agitación electromagnética durante la calefacción por inducción, este tipo de horno tiene excelentes características de mezcla para aleaciones y para agregar nuevas cargas de metal.

El otro tipo, llamados horno de núcleo o de canal, de baja frecuencia (60 Hz), estos equipos tienen una bobina que rodea una pequeña porción de la unidad; es decir, la bobina o bobinas hace las veces de primaria y el bucle, o movimiento cerrado del propio metal fundido, de secundario; como el secundario, tiene una sola espira, éste se induce a sí mismo una corriente eléctrica de baja tensión y gran amperaje que produce el calor necesario para fundir.

Lo que quiere decir que para iniciar el funcionamiento de un horno de inducción de baja frecuencia debe emplearse un poco de metal fundido, de modo que forme el secundario.

En estos equipos la velocidad de calentamiento es muy elevada y la temperatura se controla fácilmente, lo que hace que dichos hornos sean muy útiles y se empleen ampliamente en el mundo”. [20] (Botero, 2011: pp. 16-18)

#### **2.4.4 MECANISMOS DE FORMACIÓN DEL GRAFITO NODULAR**

“Debido al alto contenido de carbono existente en el hierro nodular y que a medida que baja la temperatura se pierde la solubilidad de éste en el hierro, se genera una precipitación de carbono en forma de grafito. Para que el carbono precipitado se pueda aglomerar en forma de grafito debe existir un punto de partida o un núcleo, el cual puede ser partículas de carbono existentes en la colada (nucleación homogénea) o puede ser una partícula o impureza inducida en el líquido (nucleación heterogénea) (Stefanescu, 2009) (Onsoien, et al., 1997).

Normalmente en las aleaciones ocurre la nucleación heterogénea y para el caso del hierro nodular, se realiza un tratamiento químico de inoculación con partículas de ferro silicio, porque el silicio comparte con el carbono el plano cristalográfico (001) lo cual hace que éste sea un plano preferencial de unión facilitando la creación de puntos preferenciales para nucleación (Skaland, et al., 1993).

A medida que los átomos de carbono se unen, el punto de nucleación adquiere un radio crítico ( $r^*$ ) y gracias al sobreenfriamiento en la colada ( $T-T_{eutéctica}$ ), empiezan a crecer puntos de grafito. El crecimiento del grafito se da en el plano con menor energía interfacial en contacto con el líquido. Los átomos de carbono se depositan en planos basales, lo cual se da en la dirección “c” y ocurre en forma de escalón debido a la dislocación en espiral de la interfase (Skaland, et al., 1993).

Cuando elementos activos de superficie son absorbidos, en el plano “a” la energía es menor, por lo cual este es el camino que siguen los átomos de carbono para el crecimiento del grafito, generando hojuelas. Realizar tratamientos químicos de nodulización con elementos como Mg o Ce inactivan los elementos activos de superficie, aumentando la tensión interfacial en el plano “c” y se generan nódulos (Stefanescu, 2009).

De acuerdo a lo anterior, el crecimiento natural del grafito es de forma nodular, pero la presencia de elementos como azufre y oxígeno (naturales en el proceso de fundición) actúan como elementos activos de superficie que finalmente hacen que el carbono se deposite en el plano "a" generando una estructura de hojuela, como si este fuese el camino normal de crecimiento del grafito (Skaland, et al., 1993) (Stefanescu, 2009).”

#### **2.4.5 CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDICIONES NODULARES**

“Posterior a la transformación eutéctica ocurre la transformación eutectoide en donde la matriz existente de austenita se transforma en diferentes fases de acuerdo a la velocidad de enfriamiento y los elementos de aleación presentes en la colada. Bajo condiciones de equilibrio se obtiene una matriz ferrítica con nódulos de grafito. Esta situación puede ocurrir sólo si los átomos de carbono tienen suficiente tiempo y fuerza motriz para escapar desde la austenita y/o ferrita.

Si la solidificación y el enfriamiento ocurren a una rapidez mucho mayor que la adecuada para que los átomos de carbono puedan difundir, se formará una estructura totalmente diferente. Por ejemplo, durante la solidificación proeutéctica en presencia de un alto sobreenfriamiento, precipita la fase metaestable  $Fe_3C$  en vez de grafito. En este caso, se alcanza la temperatura eutéctica metaestable antes que ocurra la nucleación de grafito y se forma un carburo eutéctico, seguido por la transformación de la austenita a perlita.

Debido a que la presencia de nódulos en la matriz, frenan la propagación de grietas, las propiedades mecánicas del hierro nodular dependen de la matriz metálica que se obtenga después de la solidificación. Según este proceso, las fundiciones nodulares se pueden clasificar en ferríticas, ferrítica-perlítica, perlítica, martensítica, bainítica, austenítica o austemperada (AFS, 1993).

Otra forma de clasificar las fundiciones nodulares es según su composición y contenido de carbono equivalente ( $CE = \%C + 1/3 \%Si$ ). De esta manera se diferencian las fundiciones de hierro nodular eutécticas, hipoeutécticas e

hipereutéticas; cada uno de estas clasificaciones tiene una forma particular de iniciar su solidificación (ASM, 1990).

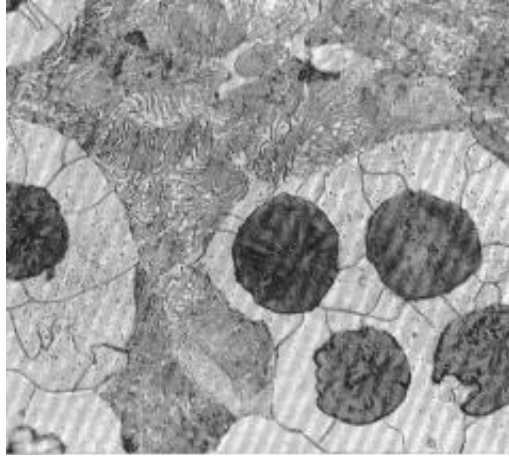
Los hierros nodulares eutécticos tienen un valor de CE igual a 4.26%, su mecanismo de solidificación aún no se ha entendido por completo, pero las teorías hasta ahora existentes hablan de una solidificación simultánea del grafito y la austenita, donde la secuencia de precipitación varía según el investigador.

En la sección anterior se describió el proceso de solidificación para un hierro nodular hipereutético, en el cual la primera fase en precipitarse es el grafito y la nucleación de la austenita se da en las fases con bajo carbono, al pasar el punto de transformación eutéctica y generando así la célula eutéctica. En el caso de los hierros hipoeutécticos la primera fase en precipitar es la austenita, en forma dendrítica y la fase secundaria en formarse es el grafito.” [10] (Murcia, 2012: pp. 19-20)

#### **2.4.6 HIERROS FUNDIDOS NODULARES**

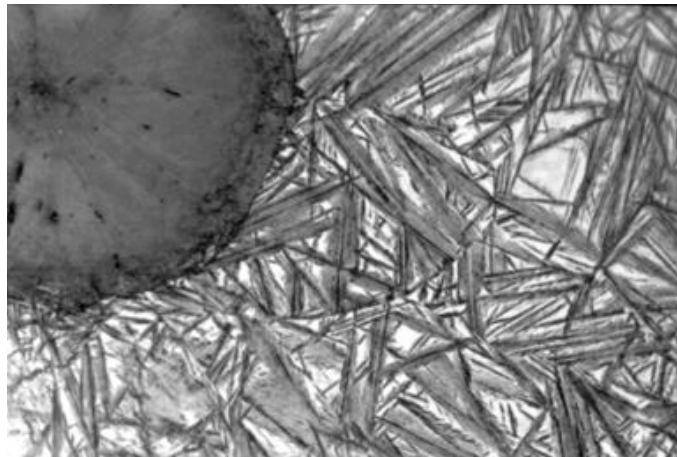
“También se conoce como hierro dúctil, hierro de grafito esferoidal, hierro esferulítico; en este tipo de hierro fundido el grafito se encuentra presente como pequeñas bolas o esferoides las cuales interrumpen con menor brusquedad la continuidad que las hojuelas de grafito en un hierro gris, dando como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

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



**Figura 2.4.6 Microestructura de la fundición nodular Ferrítica-Perlítica**  
Fuente: [15] (Díaz Del Castillo, 2007:pp. 20-21)

“Los hierros perlíticos nodulares son más fuertes pero menos dúctiles que los ferríticos. También se puede obtener una matriz martensítica templando en aceite o en agua desde una temperatura de 870 a 930 °C, figura 5. Las estructuras templadas generalmente se revienen después del endurecimiento a los niveles de resistencia y dureza deseados.”



**Figura 2.4.7 Matriz martensítica en un hierro nodular.**  
Fuente: [15] (Díaz Del Castillo, 2007: p. 21)

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

Algunas aplicaciones típicas del hierro nodular son:

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

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

Finalmente, en la tabla 2.4.6 se presentan las propiedades mecánicas de este tipo de hierro según ASTM.”

**Tabla 2.4.6 Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con la norma ASTM A-536.**

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

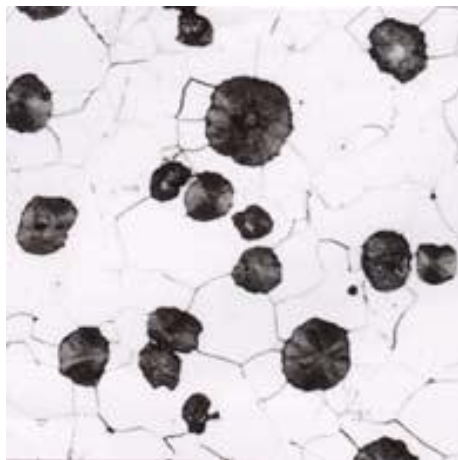
Fuente: [15] (Díaz Del Castillo, 2007: pp. 20-22)

- “ASTM A536 Clase 60-40-18: hierro nodular ferrítico, es un hierro con grafito tipo I y II, en una matriz completamente ferrítica obtenida por tratamiento térmico. Además de su excelente maquinabilidad, la matriz ferrítica proporciona alta tenacidad y permeabilidad magnética.”

“Este material presenta en condición bruta de fundición un límite de resistencia a la tracción y alargamiento, similares al acero SAE 1020 laminado en caliente.”



- “ASTM A536 Clase 65-45-12: hierro nodular ferrítico/perlítico, las principales características del hierro nodular en las clases 60-40-18 y 65-45-12, con matriz ferrítica y ferrítica/perlítica cuentan con buena maquinabilidad, excelente acabado superficial y excelente estanqueidad. Tienen límite de resistencia a la tracción y alargamientos similares a los aceros SAE 1020/1030. Esta clase de hierro tiene aplicaciones tales como componentes para máquinas, que pueden estar expuestas a riesgos de impactos, por lo que deben ser resistentes a las fracturas.”



**Figura 2.4.8 Hierro nodular**  
**Fuente: [16] (Coley, 2013: pp. 22-23)**

*La principal característica del hierro nodular de colada continua es su estructura grafitica esferoidal que determina la resistencia, la maquinabilidad y la resistencia al desgaste [16] (Coley, 2013: pp.22-23)*

“Así mismo, son una excelente elección para componentes hidráulicos que operan a altas presiones tales como manifolds, pistones, tapas de cilindros, camisas de inyectores, bombas hidráulicas y moldes.”

- “ASTM A536 Clase 80-55-06: hierro nodular perlítico/ferrítico.”
- “ASTM A536 Clase 100-70-03 Hierro nodular perlítico. Son hierros que poseen óptima templabilidad, elevadas propiedades mecánicas, límite de resistencia a la tracción y alargamiento similar al de los aceros SAE 1040/1045. Esto hace que

estas clases sean una buena elección para aplicaciones de componentes de máquinas que exijan resistencia al desgaste y tratamientos térmicos superficiales, por ejemplo, engranajes, ejes, pernos para eje, tuercas, cuerpos moledores, vástagos de pistón, cojinetes, asientos de válvula, entre otros.”

Como conclusión, resulta interesante el avance tecnológico que ha sufrido las fundiciones de hierro las cuales han permitido desarrollar nuevos materiales de mejor calidad, ayudando a mejorar aplicaciones en el campo de ingeniería; evolución que se aprecia claramente en la fundición continua que está al frente del perfeccionamiento constante de los procesos y técnicas para ofrecer más y mejores alternativas económicas y obtener formatos con mejor calidad y desempeño.

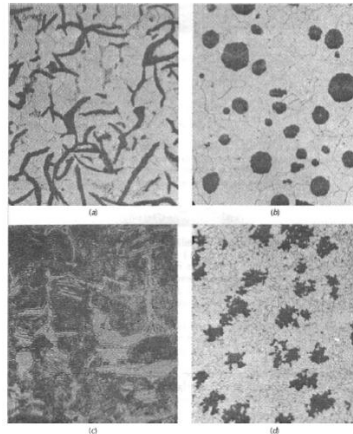
Cabe indicar que con la ayuda de la tecnología hay una mejor elección de materia y materiales para obtener una fundición con propiedades idóneas las cuales son escogidas para así obtener un resultado excelente en la generación de productos de alta calidad.

“De la misma forma, y teniendo en cuenta los diferentes tipos de estándares de hierros fundidos, en manos de la industria y de sus especialistas se encuentra el desarrollo de nuevas variaciones añadiéndoles aleaciones o modificando los procesos de tratamiento térmico para fortalecer y alcanzar las mejores propiedades metalúrgicas que respondan a nuevas necesidades del mercado.” [16] (Coley, 2013: pp. 23-24)

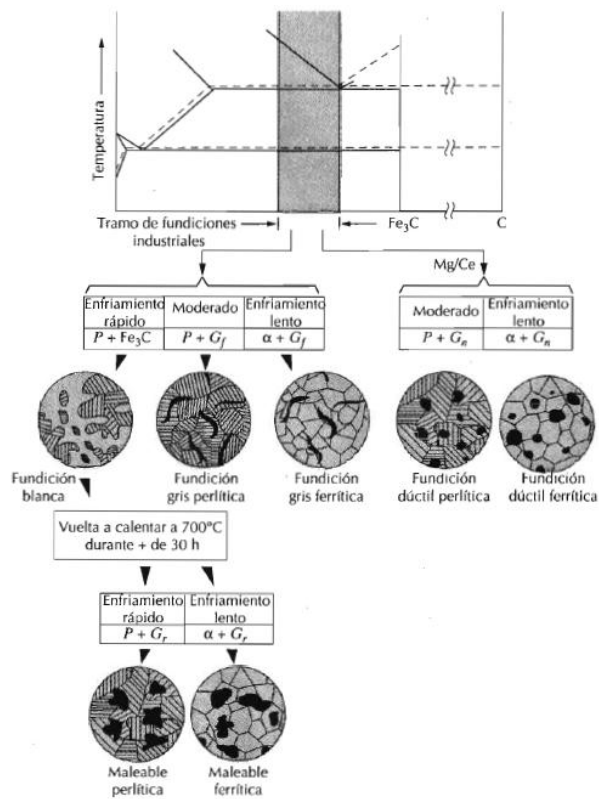
#### **2.4.6.1 Fundición dúctil (o esferoidal)**

“Adiciones de pequeñas cantidades de magnesio y/o cerio a la fundición gris en estado líquido producen diferentes microestructura, en las que el grafito en lugar de escamas forma esferoides, que originan distintas propiedades mecánicas. De este modo resulta fundición dúctil o esferoidal, cuya microestructura típica se muestra en la figura 2.4.9 (b). La matriz que rodea a los esferoides de grafito es ferrita o perlita, dependiendo del tratamiento térmico (figura 2.4.10). En la pieza sólo moldeada es perlita, sin embargo, un calentamiento a 700 °C durante varias horas la transforma en ferrita como se indica en la figura. La fundición dúctil es

más resistente y más dúctil que la gris de grafito laminar, como indican las propiedades mecánicas de la tabla 2.4.6.1”



**Figura 2.4.9 Visualizaciones ópticas de varias fundiciones, a) 500x, b) 200x, c) 400x, d) 150x**  
**Fuente: [1] (Callister, 1995:pp. 24-25)**



**Figura 2.4.10 Composiciones de las fundiciones industriales del diagrama hierro carbóno**  
**Fuente: [1] (Callister, 1995: p. 25)**

“La fundición dúctil tiene propiedades mecánicas parecidas a las del acero. Por ejemplo, la fundición dúctil ferrítica tiene una resistencia a la tracción comprendida entre 380 y 480 Mpa y una ductilidad de 10 al 20%. Este material se utiliza para fabricar válvulas, cuerpos de bombas, cigüeñales, pistones, y otros componentes del automóvil y de maquinaria.”

**Tabla 2.4.6.1 Designación, propiedades mecánicas, composiciones aproximadas y aplicaciones típicas de varias fundiciones grises, dúctiles y maleables**

Tabla 12.5 Designación, propiedades mecánicas mínimas, composiciones aproximadas y aplicaciones típicas de varias fundiciones grises, dúctiles y maleables.									
Grado	Número UNS	Composición (% en peso) <sup>a</sup>			Estructura de la matriz	Propiedades mecánicas			Aplicaciones más corrientes
		C	Si	Otros		Resistencia a la tracción [psi × 10 <sup>3</sup> (MPa)]	Límite elástico [psi × 10 <sup>3</sup> (MPa)]	Ductilidad (% EL en 2 pulg.)	
<b>Fundición gris</b>									
SAE G2500	F10005	3,3	2,2	0,7Mn	Perlita + ferrita	25(173)	—	—	Bloque de motores, tambores de freno
SAE G4000	F10008	3,2	2,0	0,8Mn	Perlita + ferrita	40(276)	—	—	Cilindros y pistones de motores
<b>Fundición dúctil (esferoidal)</b>									
ASTM A536 60-40-18	F32800	3,5-3,8	2,0-2,8	0,05Mg <0,20Ni <0,10Mo	Ferrita	60(144)	40(276)	18	Válvulas y cuerpos de bombas
100-70-03	F34800				Perlita	100(690)	70(483)	3	Engranajes de alta resistencia
120-90-02	F36200				Martensita templada	120(828)	90(621)	2	Engranajes y rodillos
<b>Fundición maleable</b>									
32510	F22200	2,3-2,7	1,0-1,75	<0,55Mn	Ferrita	50(345)	32(224)	10	Aplicaciones generales de ingeniería a temperaturas ambiente y elevadas
45006		2,4-2,7	1,25-1,55	<0,55Mn	Ferrita + perlita	65(448)	45(310)	6	

Fuente: [1] (Callister, 1995:p. 26)

**Tabla 2.4.6.2 Rangos de composición química para hierros fundidos típicos sin alear.**

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

Fuente: [3] (SMITH, 1999:p. 27)

## **2.4.7 CHATARRA METÁLICA**

La chatarra metálica para ser usada en este proceso debe tener una especial atención, con la intención de obtener una materia prima de calidad, para lo cual esta chatarra es sometida a procesos rigurosos e inspecciones por parte de la fundidora, desde el lugar de origen hasta la recepción de material.

La calidad de la chatarra depende de tres factores, los cuales serán expuestos a continuación.

- La factibilidad para ser cargada en el horno.
- Comportamiento de fusión (densidad de chatarra, tamaño, espesor, etc.)
- Composición, siendo fundamental elementos residuales que sean de difícil eliminación en el proceso del horno.

De acuerdo a la procedencia de la chatarra se puede clasificar en tres grandes grupos que son:

### **2.4.7.1 Chatarra reciclada**

“Es aquella que está formada por los (despuntos, rechazos, residuos, etc.) originados en la propia fábrica. Se trata de una chatarra de excelente calidad de una chatarra pura.” [11] (Catálogo IPAC, 2010: p. 27)

#### **2.4.7.2 Chatarra de transformación**

“Producida durante la fabricación de piezas y componentes de acero (viruta de máquinas herramientas, recortes de prensa, guillotina, etc.)”. [11] (Catálogo IPAC, 2010: p. 28)

#### **2.4.7.3 Chatarra de recuperación**

“Suele ser la de mayor parte de la chatarra que se emplea en acerías y procede del desguace de edificios con estructura de acero, plantas industriales, barcos, automóviles, electrodomésticos, etc.”

“Los controles a los que la chatarra se somete se producen en tres niveles:

1. Inspección de origen con ayuda de personal de fundidora.
2. Inspección visual en el momento de descarga.
3. Control de inspección en la fábrica antes de la fundición la cual va a permitir separar elementos nocivos, inflamables, material radiactivo, etc. Y todos materiales no féreos como tierra, grasa, aceite, cuerpos extraños.”

[11] (Catálogo IPAC, 2010: p. 28)

#### **2.4.8 FERROSILICIO (LIGA)**

“En términos generales se conocen como ferroaleaciones a aquellas aleaciones de Hierro que a más del carbono tienen otro elemento constitutivo, los cuales suelen ser útiles como agentes que reaccionan mejorando las propiedades del Acero.

Las principales ferroaleaciones son las de cromo, silicio y manganeso, las cuales brindan respectivamente: resistencia a la corrosión, contrarrestan los efectos del azufre. Y en la desoxidación de la fundición, aunque se pueden encontrar aleación con elementos como Boro, Cobalto, Niobio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Titanio, Tungsteno, Vanadio, Circonio, Magnesio, Calcio, etc.

El Ferrosilicio es una aleación constituida de al menos 73 % de silicio y 24 % de Hierro, que tiene su principal aplicación en el tratamiento del Hierro base.

Para la fabricación de Ferrosilicio, se usa como aleante el mineral de cuarzo, la calidad del mismo es una función del contenido de aluminio que tiene, el proceso se inicia con el tamizado, limpieza de polvos e impurezas con las que viene el mismo, clasificándolo luego según la granulometría la cual puede determinar dos alternativas: el grano grueso que se utiliza en la colada propiamente dicha y el fino para cubrir las bocas de la misma, realizada esta clasificación se carga las materias primas constituidas fundamentalmente por caliza, mineral de hierro, carbón y cuarzo en el horno de electrodos de carbón, (este no es el único tipo de horno utilizado para este efecto es el más común), es importante que los otros elementos constitutivos también tiene que ser debidamente clasificados en especial el carbón en donde se descartan los tamaños finos, los mismo que son desechados en lo que se denomina carbonilla.

La carga del horno es un proceso delicado que se realiza con la ayuda de vehículos especiales propulsados generalmente por electricidad, los operadores de los mismos (picadores) deben tener especial cuidado en no lastimar los Electroodos del horno que al ser de carbón (Electrodo de grafito) son muy frágiles y cuyo reemplazo puede retrasar la producción significativamente, es usual encontrar también vehículos removedores de escoria equipados con cucharas comandadas hidráulicamente.

Con la ayuda del calor el carbón reacciona con los óxidos metálicos formado monóxido de carbono y silicato de hierro  $\text{FeSi}$ , el proceso tiene el objetivo de reducir los minerales en metales básicos.”

Luego es retirado el Ferrosilicio mediante la ayuda de cucharones, especialmente diseñados para este efecto, posteriormente se le agrega magnesio y chatarra así como otros aditivos, posteriormente se lo vuelve a calentar hasta la temperatura de la colada homogenizando la fundición, en este momento se produce una reacción con un significativo desprendimiento de calor y luz, esto identifica la formación del ferrosilicio de manganeso, lo que viene a continuación es el colado en lingoteras.

Posteriormente se tritura el lingote obtenido con la ayuda de trituradoras de mandíbulas conocidas como “primarias” para posteriormente darle el afino con una trituradora de cono que se la llama “secundaria”. El ferrosilicio de manganeso obtenido tiene una amplia variedad de tamaños y por tanto requiere, de una clasificación siendo usual aquella que van de entre 0 a 100 ml, la comercialización suele realizarse en sacos de 1200 Kg.” [17] (Fay, 2008: pp.28-30)

**Tabla 2.4.8 Tipos de ferro silicio magnesio**



## FERRO SILICON MAGNESIUM

GRADE	Si (%)	Mg (%)	TRE (%)	Ca (%)	Al (%)
09 – 11	43 – 50	9.0 – 11.0	0.8 – 1.2	0.8 – 1.5	1 MAX
08 – 10 (HiMag)	43 – 48	9.0 – 11.0	3.0 – 4.0	3.0 – 4.0	1 MAX
08 – 10	44 – 48	8.0 – 10.0	0.8 – 1.0	3.0 – 3.2	1 MAX
08 – 10	43 – 48	8.0 – 10.0	1.0 – 2.0	1.0 – 2.0	1 MAX
07 – 08	44 – 48	7.0 – 8.0	0.3 MAX	1.8 – 2.0	1 MAX
06 – 07	44 – 48	6.5 – 7.5	0.8 – 1.0	2.5 – 3.0	1 MAX
06 – 07	43 – 48	6.5 – 7.0	2.2 – 2.6	2.2 – 2.6	1 MAX
06 – 07	43 – 48	6.0 – 7.0	0.5 – 1.0	3.0 – 4.0	1 MAX
06 – 07	43 – 48	6.0 – 7.0	1.5 – 2.0	1.5 – 2.0	1 MAX
06 – 07	43 – 48	6.0 – 7.0	1.5 – 2.0	0.5 – 1.0	1 MAX
06 – 07	43 – 47	6.0 – 7.0	0.8 – 1.2	0.7 – 1.1	0.2 MAX
05 – 07	43 – 48	5.0 – 7.0	1.0 – 2.0	1.0 – 2.0	1 MAX
05 – 06	44 – 48	5.5 – 6.5	1.6 – 2.4	1.7 – 2.3	1.0 – 1.25
05 – 06	44 – 48	5.5 – 6.5	0.8 – 1.2	0.8 – 1.2	0.4 – 1.0
05 – 06	44 – 48	5.5 – 6.5	0.4 – 0.6	0.5 – 1.0	1 MAX
05 – 06	44 – 48	5.6 – 6.3	0.6 – 1.0	1.5 – 2.0	1 MAX
05 – 06	44 – 48	5.5 – 6.2	0.8 – 1.2	0.8 – 1.2	1 MAX
05 – 06	43 – 48	5.5 – 6.1	1.5 – 2.25	0.9 – 1.2	0.3 MAX
05 – 06	43 – 48	5.5 – 6.1	1.5 – 2.25	0.9 – 1.2	0.3 MAX
05 – 06	43 – 48	5.5 – 6.0	0.9 – 1.2	0.75 – 1.1	0.2 – 1.2
05 – 06	43 – 48	5.0 – 6.0	2.2 – 2.6	2.2 – 2.6	1 MAX
05 – 06	44 – 48	5.0 – 6.0	0.35 – 0.65	0.8 – 1.2	1 MAX
05 – 06	44 – 47	5.0 – 5.5	1.8 – 2.2	1.8 – 2.2	0.2 MAX
05 – 06	45 – 50	5.1 – 5.4	1.5 – 2.0	1.5 – 2.5	0.6 – 1.0
05 – 06	45 – 50	5.0 – 5.4	1.5 – 2.5	1.5 – 2.0	0.6 – 1.0
04 – 06	43 – 48	4.0 – 6.0	1.0 – 2.0	1.0 – 2.0	1 MAX
04 – 05	44 – 46	4.8 – 5.2	1.5 – 2.0	1.5 – 2.0	0.6 – 1.0
SNAM CGMG (For CG Iron)	43 – 48	5.5 – 6.5	5.0 – 6.0	1.75 – 2.25	1 MAX
SNAM LAMG	43 – 48	5.0 – 6.0	La = 0.5 – 0.75	0.8 – 1.2	1 MAX

Fuente: [18] (Snam Alloys Pvt. Ltd: p. 30)



## 2.4.9 ARENAS DE MOLDEO

- Sílice 80-90%: Dan refractariedad y permeabilidad (granos grandes)
- Arcilla (aglomerante) 4-9%: Partículas finas de la arena, por ejemplo; silicato de alúmina hidratado
- Agua e impurezas 2-6%: minerales complejos, por ejemplo; CaO, MgO, FeO, Na<sub>2</sub>O

La arcilla con el agua forman una masa pastosa que rodea los granos de sílice y hace que entre ellos se genere una fuerza de cohesión

ARENA: >80% En las mezclas de moldeo

Definición A.F.S.: Es un material compuesto de granos de materia minera, distribuidos desde 2 hasta 0.05 mm de diámetro aprox.

Las arenas de fundición están compuestas principalmente por SiO<sub>2</sub> (sílice) asociado con pequeñas cantidades de micas, feldspatos y otros minerales.

Clasificación: Sílice (SiO<sub>2</sub>), Zircón (ZrSiO<sub>4</sub>), Cromita (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), Olivino (Mg, Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), estauroilita (FeAl<sub>5</sub>SiO<sub>12</sub>OH) y silicatos de aluminio

Características exigidas a las arenas para su empleo en fundición:

1. Refractariedad. Resistir la acción de las temperaturas altas. Depende de la pureza en su composición química
2. Resistencia, durabilidad o vitalidad. Debe conservar la reproducción del modelo y soportar los choques térmicos sin fragmentarse, lo cual depende de la estructura de los granos.
3. Permeabilidad. Permite la rápida evacuación del aire y los gases que se generan durante la colada. La distribución granulométrica debe ser la adecuada.
4. Plasticidad: Capacidad de reproducir el modelo.

5. Disgregabilidad: Capacidad de disgregarse fácilmente la arena después de la colada para permitir la extracción de la pieza

Factores que determinan las propiedades de las arenas:

- (a) Composición química, (b) Forma, tamaño y distribución del grano, (c) tipo y cantidad del aglomerante, (d) cantidad de agua, (e) Tipo y cantidad de impurezas (f) Calidad de mezclado y (g) Intensidad de apisonado

#### **2.4.9.1 Tipos de arena de moldeo**

##### 1. Según el contenido de arcilla

- Mezcla Magra: 4-8% de arcilla, también llamadas arenas verdes. Se utilizan en su estado natural de humedad y arcilla. Contiene la cantidad adecuada de arcilla para ser utilizada en la elaboración de moldes
- Semiarcillosas o semigrasas: 8-10% de arcilla.
- Grasas: También llamadas arenas secas. Poseen más del 18% de arcilla. Estos moldes que después de confeccionados se llevan a un proceso de secado. Se utiliza mucho en piezas grandes. Se logra mayor exactitud dimensional, mayor resistencia y cohesión de la arena y mayor permeabilidad.

##### 2. Según su origen

- Naturales: Arena que se utiliza tal como se encuentra en el yacimiento.
- Sintéticas: Se preparan artificialmente mezclando sílice pura con agua y con aglutinante y/o aglomerante adecuado.

##### 3. Según se les haya empleado o no en el proceso

- Nueva: Es aquella que se va a emplear por primera vez en el proceso
- Vieja: Arena usada en coladas anteriores y es reutilizada.

##### 4. Según su aplicación en el moldeo

- De contacto: Son arenas preparadas con calidades especiales que se usan para formar una pequeña capa sobre el modelo.
- De relleno: Son arenas viejas procedentes del desmoldeo que se utilizan para complementar el llenado del molde a continuación de la arena de contacto

#### 5. Según su utilización

- Para moldes
- Para machos

#### 6. De acuerdo al tamaño de grano

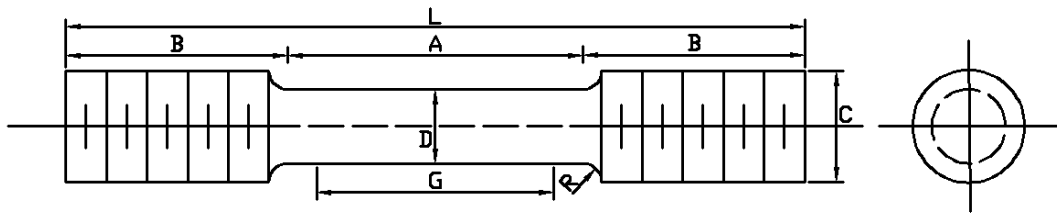
**Tabla 2.4.9.1 Tamaño de grano de acuerdo a tipo de arena**

Arena	INDICE A.F.S.	TAMAÑO DE GRANO
Muy gruesa	< a 18	entre 1 y 2 mm
Gruesa	entre 18 y 35	entre 0.5 y 1 mm
Media	entre 35 y 60	entre 0.25 y 0.5 mm
Fina	entre 60 y 150	entre 0.12 y 0.25 mm
Finísima	> 150	< 0.10 mm

Fuente: [4] (Kalpakjian, 2002. pp. 31- 33)

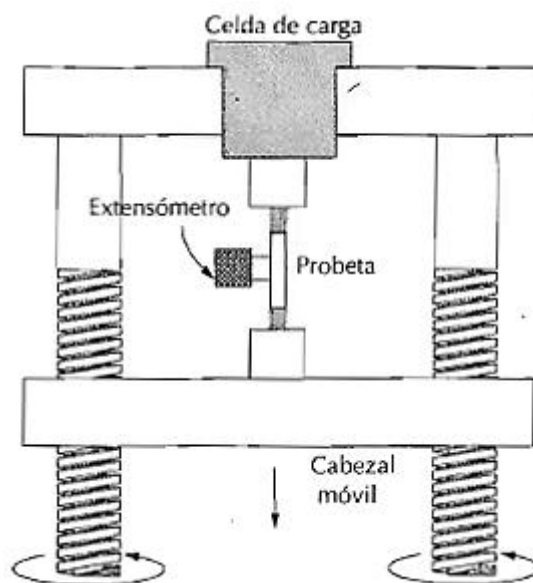
#### 2.4.10 ENSAYOS DE TRACCIÓN

“Uno de los ensayos mecánicos esfuerzo- deformación más comunes es el realizado a tracción. Tal como se expondrá más adelante, el ensayo a tracción puede ser utilizado para determinar varias propiedades de los materiales que son importantes para el diseño. Normalmente se deforma una probeta hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta en la figura 2.4.11 se muestra una probeta de tracción normalizada.”



**Figura 2.4.11 Probeta a tracción normalizada**  
**Fuente: [1] (Callister, 1995: p. 34)**

“Generalmente la sección de la probeta es circular, pero también se utilizan de sección rectangular. Durante el ensayo, la deformación esta confinada en la región más estrecha del centro, la cual tiene una sección uniforme a lo largo de su longitud. El diámetro normalizado es aproximadamente igual a 12,8 mm (0,5 pulg). Mientras que la longitud de la sección reducida debe ser igual o por lo menos cuatro veces su diámetro, siendo unos 60 mm la longitud de prueba se utiliza en el cálculo de ductilidad, el valor nominal es 50 mm (2 pulg). La probeta se monta con sus extremos en las mordazas de la máquina de ensayos, figura 2.4.12. Esta se diseña para alargar la probeta a una velocidad constante, y para medir continua y simultáneamente la carga instantánea aplicada y el alargamiento resultante. El ensayo dura varios minutos y es destructivo, o sea, la probeta del ensayo es deformada de forma permanente y a menudo rota.”



**Figura 2.4.12 Máquina universal para ensayos de tracción**  
**Fuente: [1] (Callister, 1995: pp. 33, 34)**

La tensión nominal se define como

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

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

$A_0$  = Área de la sección original antes de aplicar la carga (m<sup>2</sup> o pulg<sup>2</sup>). [1] (Callister, 1995: p. 35)

#### **2.4.10.1 Requerimientos de ensayo a tracción**

Requerimientos para probetas de ensayo.

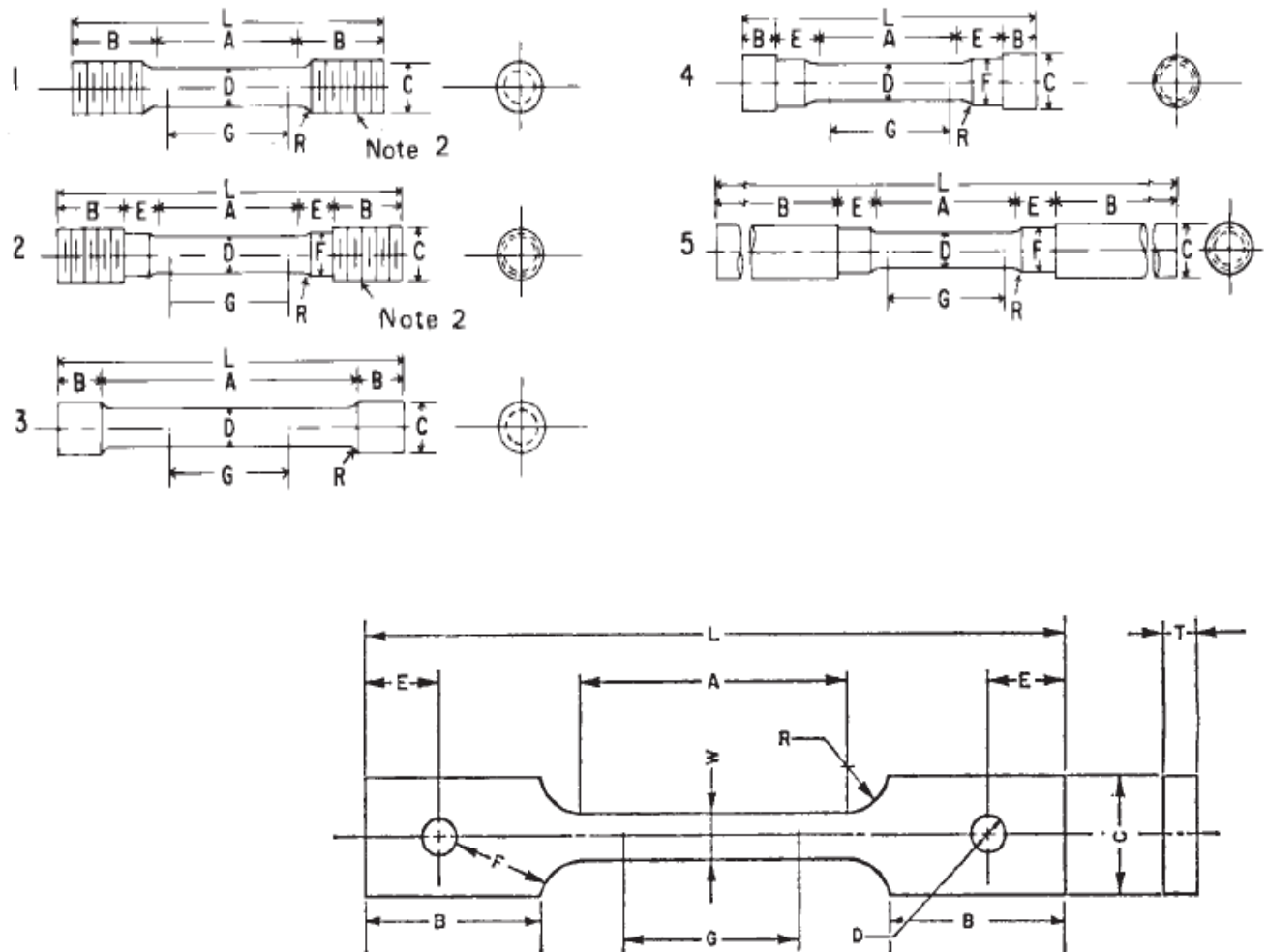
“Ciertos requerimientos fundamentales pueden establecerse y ciertas formas de probeta se acostumbran a usar para tipos particulares de ensayos. La sección transversal de la probeta es redonda, cuadrada o rectangular. Para los metales, si una pieza de suficiente grueso puede obtenerse de manera sencilla, se usa habitualmente una probeta redonda; para láminas y placas se emplea una probeta plana.”

“La porción central del tramo es usualmente, pero no siempre, de sección menor que los extremos para provocar que el fallo ocurra en una sección donde los esfuerzos no resulten afectados por los dispositivos de sujeción. Se define como tramo de calibración aquel sobre el cual se toman las mediciones de alargamiento o extensómetro.”

“La forma de los extremos debe ser adecuada al material, y se ha de ajustar al dispositivo de sujeción a emplear. Los extremos de las probetas redondas pueden ser simples, cabeceados o roscados. La relación entre el diámetro o ancho del extremo, y, el diámetro de la sección reducida ha de valorarse en materiales quebradizos para evitar la rotura debida al esfuerzo axial y los esfuerzos debidos a la acción de las mordazas.”

“Una probeta debe ser simétrica con respecto a un eje longitudinal durante toda su longitud para evitar la flexión durante la aplicación de carga.” [21] (Bojak, Y. 2010.

Pág. 35,36)



Dimensions	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005
W—Width (Note 1)	0.500 ± 0.010
T—Thickness, max (Note 2)	5/8
R—Radius of fillet, min (Note 3)	1/2
L—Over-all length, min	8
A—Length of reduced section, min	2 1/4
B—Length of grip section, min	2
C—Width of grip section, approximate	2
D—Diameter of hole for pin, min (Note 4)	1/2
E—Edge distance from pin, approximate	1 1/2
F—Distance from hole to fillet, min	1/2

Figura 2.4.13 Tipos de probetas para ensayo a tracción normalizados

Fuente: [5] (Norma ASTM E-8: pp. 35- 36)

#### 2.4.10.2 Tipos de deformaciones

**Deformación plástica, irreversible o permanente:** Modo de deformación en que el material no regresa a su forma original después de retirar la carga aplicada. Esto sucede porque, en la deformación plástica, el material experimenta cambios termodinámicos irreversibles al adquirir mayor energía potencial elástica. La deformación plástica es lo contrario a la deformación reversible.

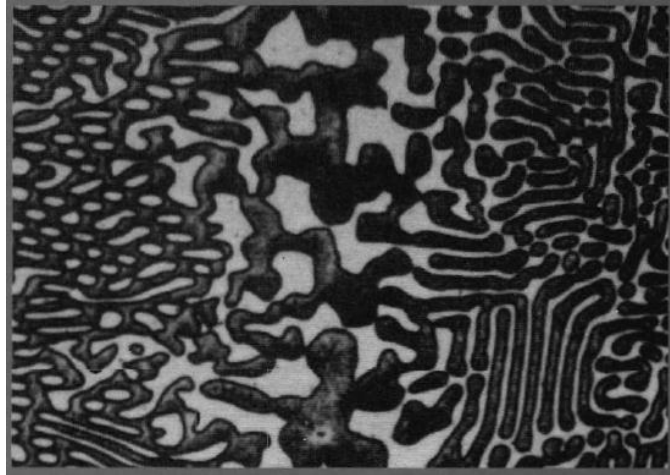
**Deformación elástica reversible o no permanente:** el cuerpo recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación. En este tipo de deformación, el sólido, al variar su estado tensional y aumentar su energía interna en forma de *energía potencial elástica*, solo pasa por cambios termodinámicos reversibles.

#### 2.4.11 MICROESTRUCTURA

“Frecuentemente, las propiedades físicas y, en particular, el comportamiento mecánico de un material dependen de la microestructura. La microestructura es susceptible de ser observada microscópicamente, utilizando microscopios ópticos y electrónicos. En las aleaciones metálicas, la microestructura se caracteriza por el número de fases y por la proporción y distribución de esas fases. La microestructura de una aleación depende del número de aleantes, de la concentración de cada uno de ellos y del tratamiento térmico de la aleación (por ejemplo la temperatura y del tiempo, el calentamiento y de la velocidad de enfriamiento).”

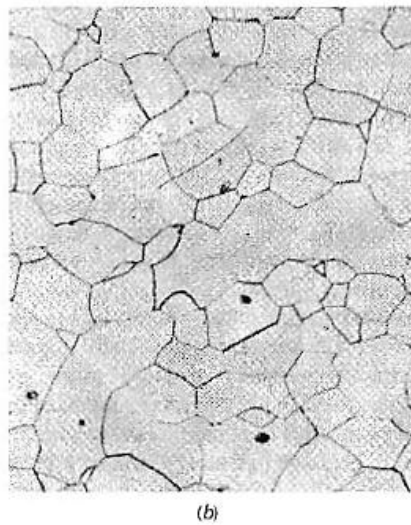
Para obtener datos importantes de la microestructura y a la vez detalles únicos en cada tipo de probeta es necesario preparar cuidadosamente las superficies. La superficie debe desbastarse y pulirse hasta que quede como un espejo. Para lo cual se usa papeles abrasivos y polvos cada vez más finos. Posteriormente se revela la microestructura tratada sobre la superficie mediante un reactivo químico apropiado para cada tipo de material.

Después de los apropiados pulidos y ataques, las fases se distinguen por su apariencia. Por ejemplo, la figura 2.4.14 muestra dos fases de la aleación aluminio- cobre una aparece clara y otra oscura.



**Figura 2.4.14 Fases de aleación de aluminio-cobre**  
Fuente: [1] (Callister, 1995: pp. 37- 38)

Cuando sólo existe una fase o disolución sólida, la textura es uniforme excepto los límites de grano revelados figura 2.4.15 (b)



**Figura 2.4.15 Visualización de superficie atacada y pulida de aleación hierro-cromo (90 x)**  
Fuente: [1] (Callister, 1995: p. 38)



## **2.4.12 ENSAYO DE DUREZA**

La dureza, otra propiedad mecánica que puede ser sumamente importante, la cual es una medida de la resistencia de un material a la deformación plástica localizada. Un método cualitativo de ordenar de forma arbitraria la dureza es ampliamente conocido y se denomina escala de Mohs, la cual va desde 1 en el extremo para el talco hasta 10 para el diamante.

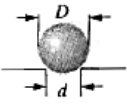



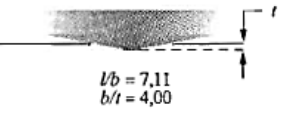
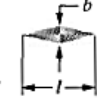
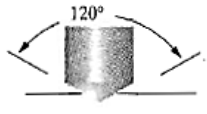

### **2.4.12.1 Ensayo de dureza Rockwell.**

Constituye el método más usado para medir la dureza debido a que es muy sensible de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales. Se puede utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar virtualmente cualquier metal o aleación desde el más duro al más blando.

Los penetradores son bolas esféricas de acero endurecido que su diámetro varía de  $\frac{1}{16}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{4}$ , y  $\frac{1}{2}$  pulg (1.588, 3.175, 6.350, 12.70 mm) y un penetrador cónico de diamante Brale, el cual se utiliza para los materiales más duros.

“Con este sistema se determina el número de dureza que tiene el material de acuerdo a la diferencia de profundidades que nos enseña el penetrador, y resulta al aplicar una carga inicial pequeña y posteriormente se ocupa una de mayor carga. La utilización de una carga pequeña aumenta la exactitud de la medida, basándonos en la exactitud de cargas mayores y menores, Existen dos tipos de ensayos, el primero es el Rockwell y el segundo es el Rockwell superficial”. El ensayo de dureza Rockwell, la carga menor es de 10 kg, mientras las cargas mayores son de 60, 100 y 150 kg. Cada escala está representada por una letra del alfabeto.

**Tabla 2.4.12.1 Técnicas de ensayo de dureza**

Tabla 6.4 Técnicas de ensayo de dureza					
Ensayo*	Penetrador	Forma del penetrador		Carga	Fórmula para el número de dureza <sup>a</sup>
		Vista lateral	Vista superior		
Brinell	Esfera de 10mm de acero o de carburo de tungsteno			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Microdureza Vickers	Pirámide de diamante			p	$HV = 1,854P/d_1^2$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante			p	$HK = 14,2P/l^2$
Rockwell y Rockwell superficial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cono de diamante</li> <li>Esferas de acero de <math>\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}</math> pulgadas de diámetro</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>60 kg } Rockwell</li> <li>100 kg }</li> <li>150 kg }</li> <li>15 kg } Rockwell superficial</li> <li>30 kg }</li> <li>45 kg }</li> </ul>	

Fuente: [1] (Callister, 1995: pp. 39- 40)

**Tabla 2.4.12.2 Escala de dureza Rockwell**

Escala de dureza Rockwell		
Símbolo de la escala	Penetrador	Carga Mayor (Kg)
A	Diamante	60
B	Bola de 1/16 pulg	100
C	Diamante	150
D	Diamante	100
E	Bola de 1/8 pulg	100
F	Bola de 1/8 pulg	60
G	Bola de 1/16 pulg	150
H	Bola de 1/16 pulg	60
K	Bola de 1/8 pulg	150

Fuente: [1] (Callister, 1995: p. 40)

**Tabla 2.4.12.3 Escala de dureza Rockwell superficial**

<b>Escala de dureza de Rockwell superficial</b>		
<b>Símbolo de la escala</b>	<b>Penetrador</b>	<b>Carga Mayor (Kg)</b>
<b>15N</b>	Diamante	15
<b>30N</b>	Diamante	30
<b>45N</b>	Diamante	45
<b>15T</b>	Bola de 1/16 pulg	15
<b>30T</b>	Bola de 1/16 pulg	30
<b>45T</b>	Bola de 1/16 pulg	45
<b>15W</b>	Bola de 1/8 pulg	15
<b>30W</b>	Bola de 1/8 pulg	30
<b>45W</b>	Bola de 1/8 pulg	45

**Fuente: [1] (Callister, 1995:p. 41)**

Para ensayos superficiales, la carga menor es de 3 kg. Estas escalas se identifican mediante un número (15,30, o 45, según sea la carga) y una letra (N, T, W o Y, según el penetrador) los ensayos superficiales se realizan frecuentemente en probetas delgada.

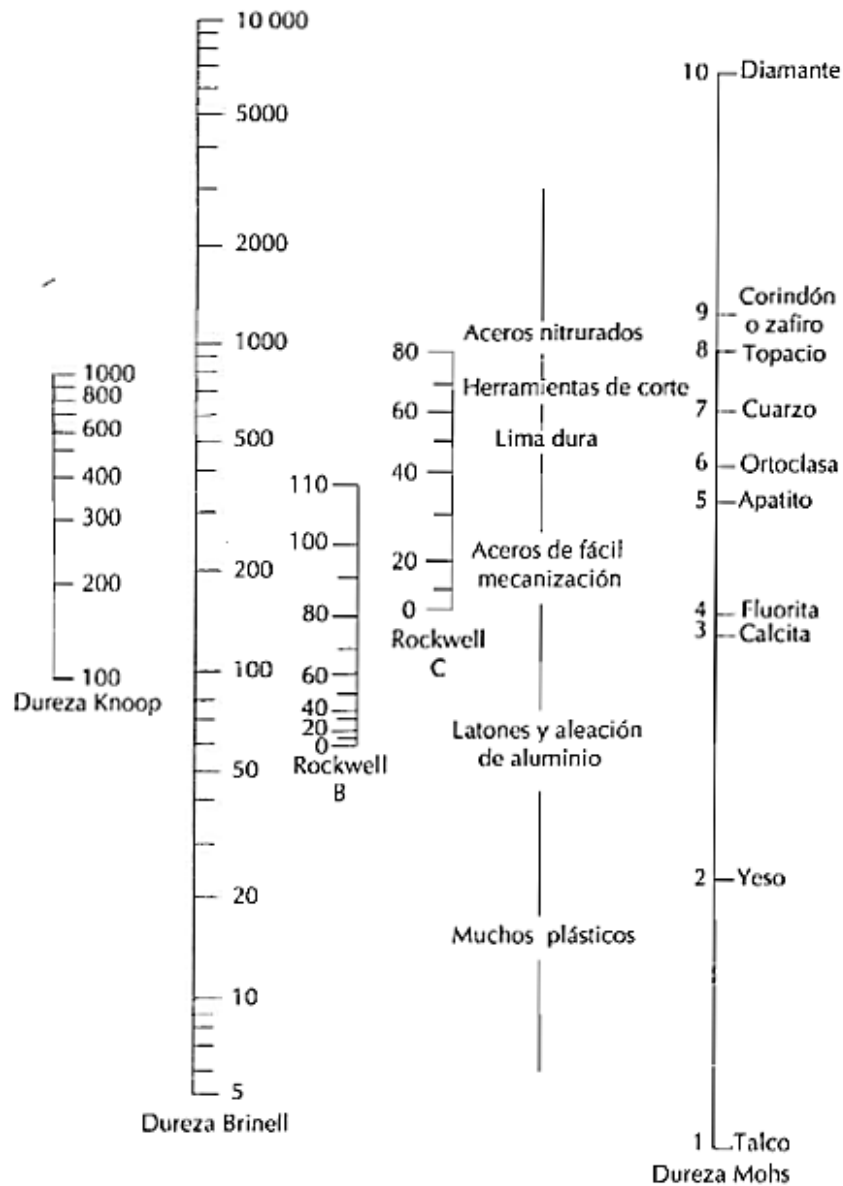
Cuando se especifica durezas Rockwell y superficiales se debe indicar además el número de dureza, símbolo de escala utilizada. La escala se designa como HB seguido de identificación de la escala ejemplo 80 HRB representa dureza Rockwell de 80 en escala B y 60 HR30W indica una dureza superficial de 60 en la escala 30W.

#### **2.4.12.2 Dureza Brinell**

En los ensayos de dureza Brinell, así como como en las durezas Rockwell, se fuerza un penetrador duro esférico en la superficie del metal a ensayar. El diámetro del penetrador de acero endurecido (o bien de carburo de tungsteno) es de 10,00 mm (0,394 pulg). Las cargas normalizadas están comprendidas entre 500 y 3000 kg en incrementos de 500 kg, durante el ensayo la carga se mantiene constante durante 10 a 30 segundos. Los materiales más duros requieren cargas

mayores. El número de dureza Brinell HB, es una función de tanto la magnitud de la carga como del diámetro de la huella resultante. Este diámetro se mide con una lupa de pocos aumentos, que tienen una escala graduada en el ocular. El diámetro medido es entonces convertido en HB aproximado usando una tabla. La superficie sobre la cual se realiza la huella deberá estar tanto para HB Como HR perfectamente lisa. [1] (Callister, 1995:pp. 39-42)

**Tabla 2.4.12.4 Comparación de varias escalas de dureza**



Fuente: [1] (Callister, 1995:p. 42)

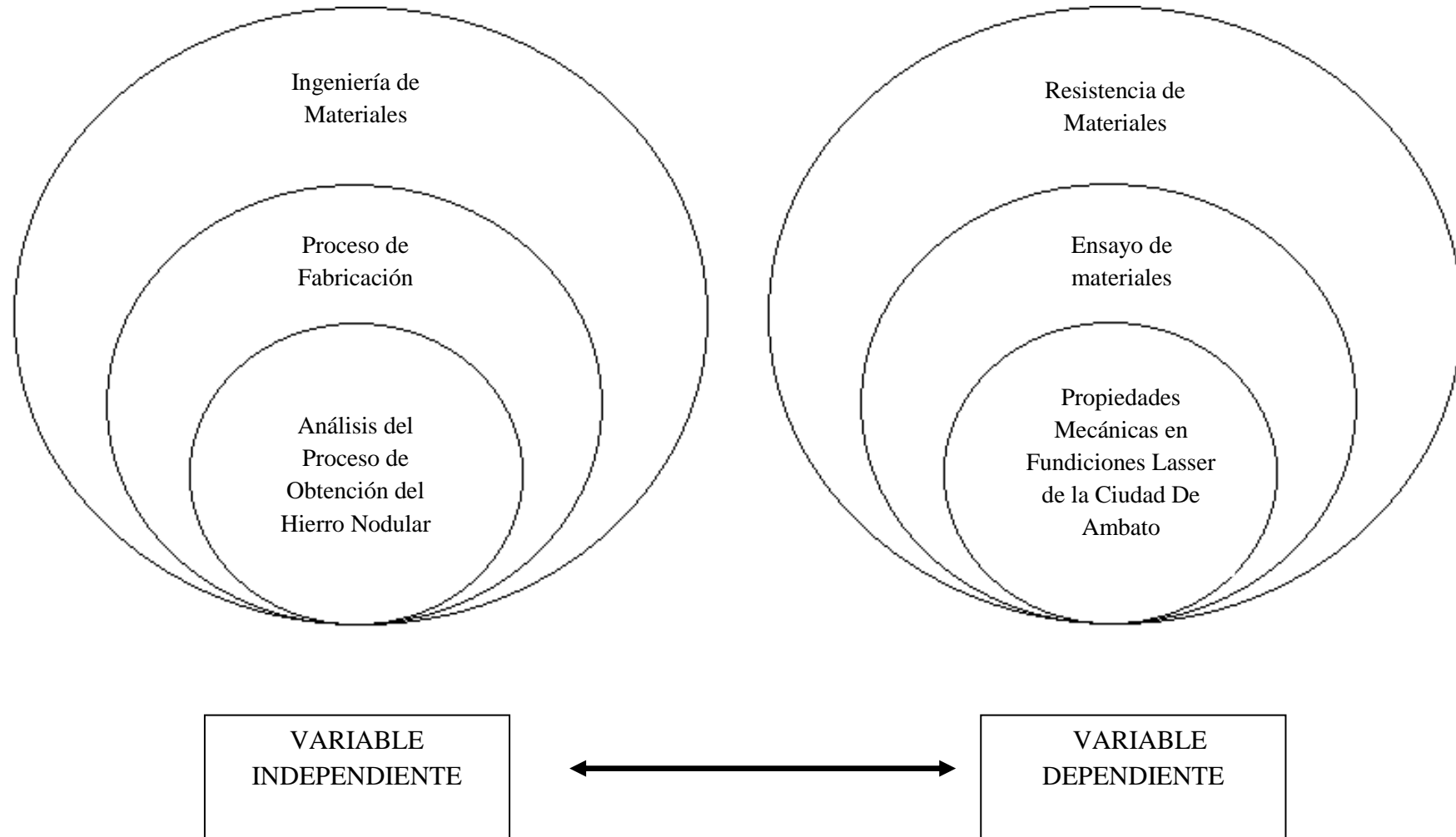
### 2.4.13 ESPECTROMETRÍA DE CHISPA O ARCO

Se usa para el análisis de elementos metálicos en muestras sólidas. Para materiales no conductores, se usa polvo de grafito para hacer conductora la muestra. En los métodos de espectroscopia de arco tradicionales se usa una muestra sólida que es destruida durante el análisis. Un arco eléctrico o chispa se pasan por la muestra, calentándola a alta temperatura para excitar los átomos. Los átomos de analito excitado emiten luz en varias longitudes de onda que pueden ser detectadas mediante métodos espectroscópicos comunes. Ya que las condiciones que producen la emisión por arco no son controladas cuantitativamente, el análisis de los elementos es cualitativo. Hoy día, las fuentes de chispa con descargas controladas bajo una atmósfera de argón permiten que este método pueda ser considerado eminentemente cuantitativo, y su uso está muy extendido en los laboratorios de control de producción de fundiciones y acerías. [19] (Tipos de espectrometría, 2013. publicado bajo licencia CCBY-SA 3.0, espectrometria.com. p. 43)



**Figura 2.4.16** Espectrómetros de fluorescencia de rayos x por dispersión de energía  
Fuente: [22] (Jenck S.A Instrumental Analítico.2013: p.43)

## 2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



## **2.6 HIPÓTESIS**

¿El análisis del proceso de obtención del hierro nodular mejorará las propiedades mecánicas en productos en Fundiciones Lasser de la ciudad de Ambato?

## **2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Análisis del Proceso de Obtención del Hierro Nodular

### **2.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

Propiedades Mecánicas

### **2.7.3 CONECTOR**

Mejorará

## **CAPÍTULO III**

### **LA METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

El presente proyecto de investigación tuvo un enfoque cuanti– cualitativo, debido que a través de la recopilación de datos se obtuvo factores útiles, los cuales fueron tomados en cuenta para mejorar el proceso de obtención de hierro nodular.

#### **3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

Investigación de Campo.

En el presente proyecto se aplicó la investigación de campo, ya que por medio de esta se conoció la realidad existente en el sitio de estudio.

Esta investigación en sitio nos permitió tener los datos necesarios para que el investigador pueda desenvolverse con mayor seguridad y así obtener la mejor alternativa de solución al problema planteado.

Investigación documental-bibliográfica.

La investigación bibliográfica nos ayudó a conocer, investigar y analizar diferentes enfoques y teorías sobre el mejoramiento de hierro nodular y los efectos que este con lleva a las propiedades mecánicas y cambio en su microestructura.

Intervención social o proyecto factible.

El presente proyecto tuvo como finalidad ayudar a Fundidora Lasser a obtener un producto de calidad, con cualidades idóneas por lo cual va a ser una empresa competitiva en el mercado y mejorar en su economía.



### **3.3 NIVELES DE INVESTIGACIÓN**

Exploratorio.

La investigación tiene un nivel exploratorio, ya que este estudio buscó una solución a un problema planteado en el área de materiales, de esta manera el tema investigativo de la mejora de hierro fundido y su incidencia en la resistencia a tracción y microestructura será de gran interés investigativo.

Descriptivo.

La investigación se orienta a señalar cómo es y cómo se manifiesta el problema, basándonos en el nivel exploratorio, se buscó especificar los aspectos importantes para medirlos y evaluarlos.

Los conocimientos que se aplicaron en la investigación son aquellos que buscan determinar características y propiedades del tema a ser investigado, dicha investigación manejó conocimientos amplios para mejorar el hierro nodular su resistencia a tracción y su microestructura de la manera más eficaz.

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1 Población**

La población para este estudio fue considerado todas las posibles obtenciones de hierro Fundido Nodular mediante los tres tipos de chatarra, más conocidos que son chatarra de reciclaje, chatarra de transformación, chatarra de recuperación a partir de esta se pudo obtener la muestra necesaria para el análisis de las probetas, las cuales fueron de mejor calidad, y elaboradas en Fundidora Lasser en horno de inducción.

#### **3.4.2 Muestra**

De las muestras que se obtuvieron para el análisis de las mismas se tomaron de una población de probetas las cuales fueron distribuidas de esta manera:

**Tabla 3.4.2 Tamaño de muestra de investigación**

<b>Tipo De Chatarra</b>	<b>Chatarra Reciclada</b>	<b>Chatarra De Transformación</b>	<b>Chatarra de Recuperación</b>
<b>Ensayos</b>			
<b>Tracción</b>	5	5	5
<b>Metalografía</b>	1	1	1
<b>Dureza</b>	1	1	1
<b>Espectrometría</b>	1	1	1

Fuente: Autor

**Tabla 3.4.3 Distribución de muestras para cada ensayo**

3 probetas análisis metalográfico	Grupo: 1,2,3
3 probetas espectrometría	Grupo: 1,2,3
5 probetas a ensayo a tracción grupo 1	Escoge mayor resistencia
5 probetas a ensayo a tracción grupo 2	Escoge mayor resistencia
5 probetas a ensayo a tracción grupo 3	Escoge mayor resistencia
3 probetas de Dureza	Comparación entre las 3 escoge la mayor

Fuente: Autor

### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### MATRIZ OPERACIONALIZACIÓN VARIABLES

**HIPÓTESIS:** EL ANÁLISIS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR PERMITIRÁ OBTENER MEJORES PROPIEDADES MECÁNICAS EN FUNDICIONES LASSER DE LA CIUDAD DE AMBATO

**3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:** Análisis del Proceso de Obtención del Hierro Nodular

**Tabla 3.5.1 Variable independiente**

ABSTRACTO		CONCRETO		
DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	HERRAMIENTAS
El grafito esferoidal es producido por la adición de uno más elementos al metal fundido: magnesio, cerio, calcio, litio, sodio, bario y otros elementos producen también grafito esferoidal	✓ Material utilizado en obtención de fundición	- Aleantes	¿Qué clase de Ferro Silicio Magnesio será la más adecuada?	Medición directa de aleantes
	✓ Fundición	¿Qué hornos se utilizan para la obtención de la aleación?	- Inducción	Bibliografía Catálogo
	✓ Parámetros de Fundición	Tipo de chatarra	-Reciclada -Trasformación -Recuperación	Observación directa

Fuente: Autor.

### 3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE: Propiedades Mecánicas.

**Tabla 3.5.2 Variable dependiente**

ABSTRACTO		CONCRETO		
DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	HERRAMIENTAS
Dando como resultado una mayor resistencia y tenacidad, comparada con una estructura semejante a la del hierro gris	Tracción	-Resistencia ultima a La Tracción	¿Qué resistencia última tendrá la fundición nodular obtenida?	-Ensayo de tracción en el laboratorio -Fichas -Observación Directa
	Microestructura	-Porcentaje de Grafito -Porcentaje de Ferrita	¿Qué porcentaje de Grafito se obtendrá? ¿Qué porcentaje de Ferrita se obtendrá?	-Observación microscópica
	Dureza	-Dureza de material	¿Qué dureza tendrá la fundición nodular obtenida?	-Durómetro
	Espectrometría	-Composición química del material	¿Qué porcentaje químico tendrá cada elemento?	-Espectrometría de chispa

Fuente: Autor.

### 3.6 RECOLECCION DE INFORMACIÓN

**Tabla 3.6.2 Recolección de información**

	TIPOS	INSTRUMENTOS
OBSERVACIÓN	Directa- Indirecta	Cuaderno de notas
	Participante- No participante	Diario
	Estructurada- No estructurada	Ficha de campo
	Individual- En equipo	Registro específico
	Campo – laboratorio	Ficha de campo
	DOCUMENTACIÓN	Libros Publicaciones Catálogos

Fuente: Autor.

La recolección de información se realizó mediante cuaderno de notas, diario y otros instrumentos más, los cuales nos ayudaron a seguir un proceso y una guía en la investigación, todo esto se manejó mediante la observación y el análisis de resultados.

Al igual se utilizó material bibliográfico como son libros, catálogos que fueron de utilidad para realizar los ensayos deseados.

### 3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

La información que se extrajo mediante los ensayos de tracción y las fotografías de la microestructura de las probetas de hierro nodular se expresaron mediante gráficos y tablas las cuales nos ayudaron a identificar cual aleación es la más adecuada.

- Se realizaron los ensayos a tracción con diferentes porcentajes de aleación de materiales usados en hierros nodulares

- El análisis metalográfico, para saber si su microestructura entre probetas cambiará drásticamente.

Se tomaron los datos de las 5 probetas de cada fundición realizada.

Obteniendo datos que fueron interpretados para saber cuál tipo de probeta obtuvo mejores propiedades.

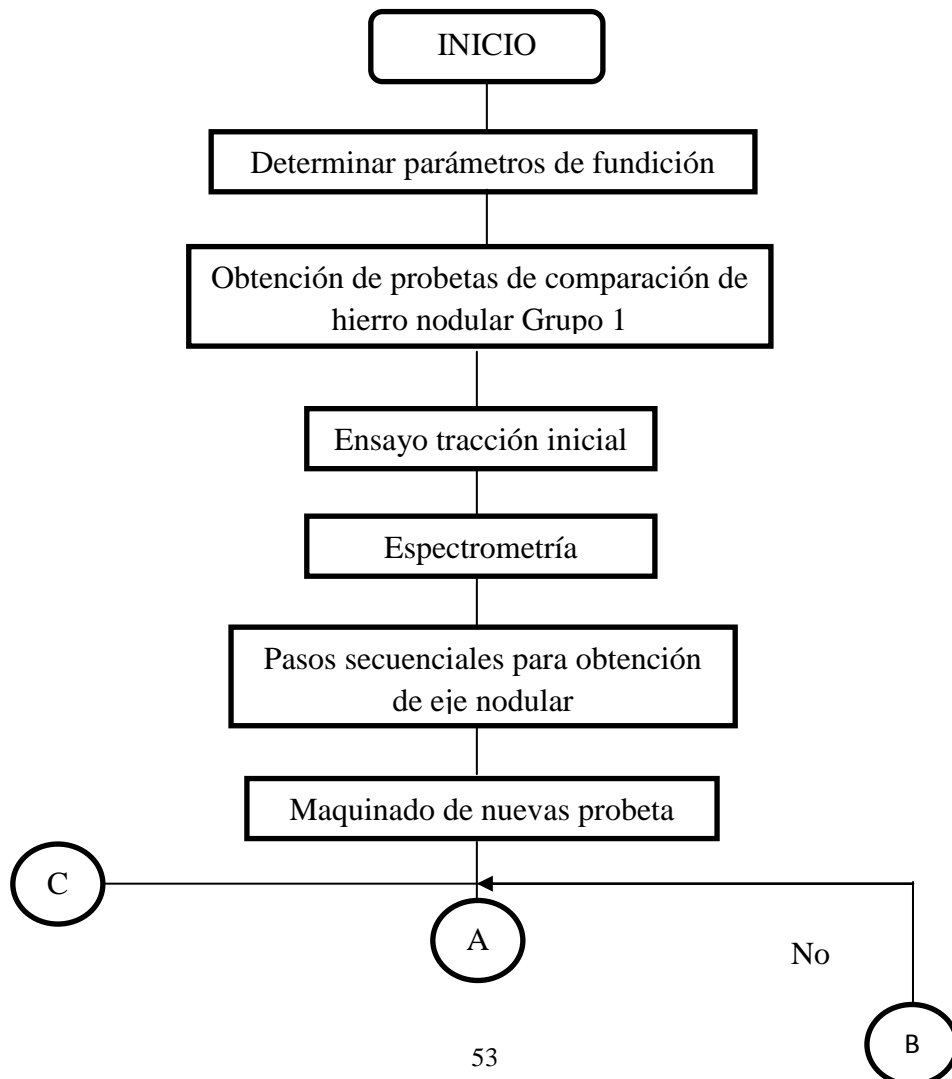
Los resultados se expresaron en gráficos de dispersión en los cuales tienen expresados los datos de la resistencia a tracción de las diferentes probetas, al igual que por tablas se mostraron las características de las diferentes microestructuras.

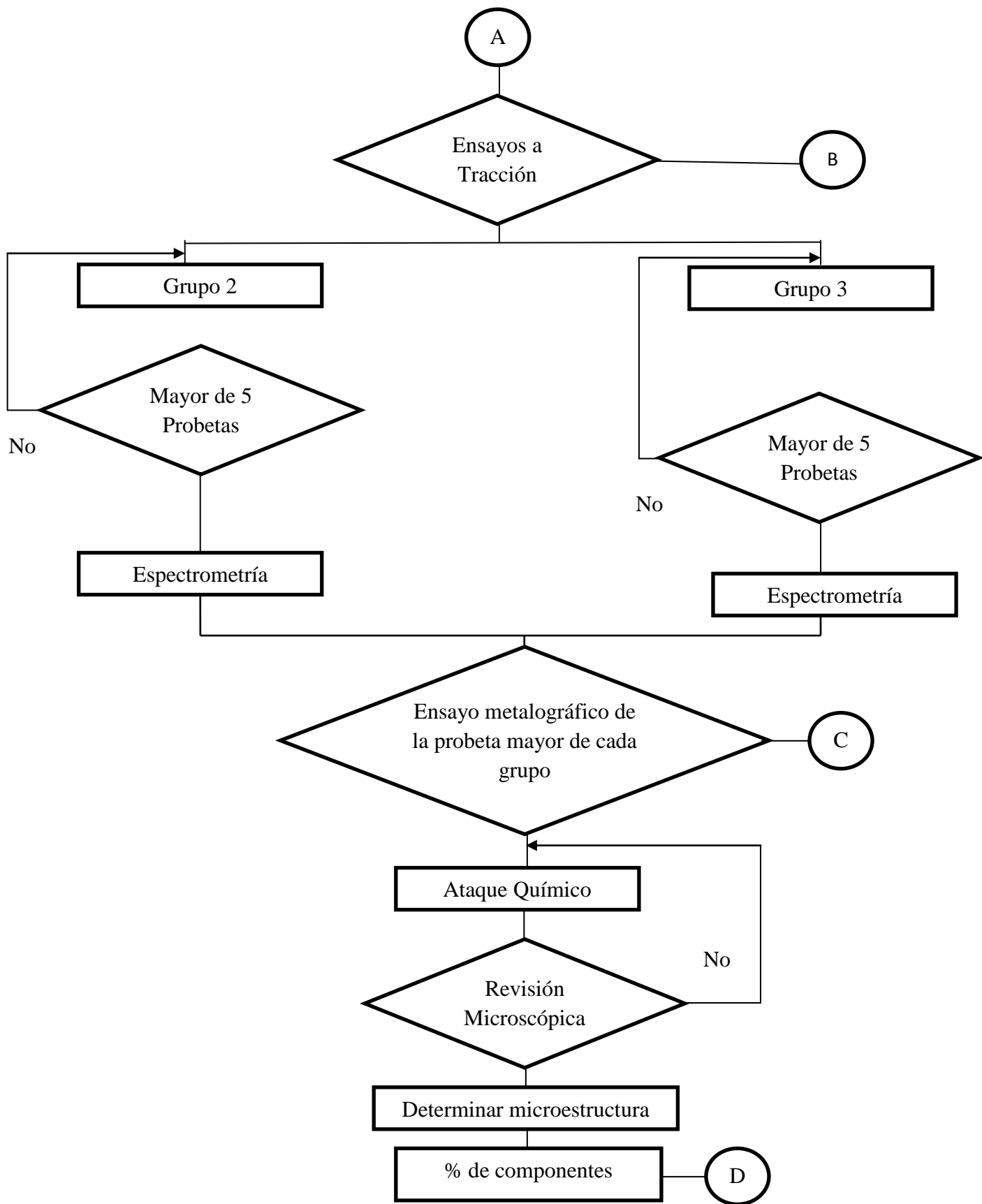
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

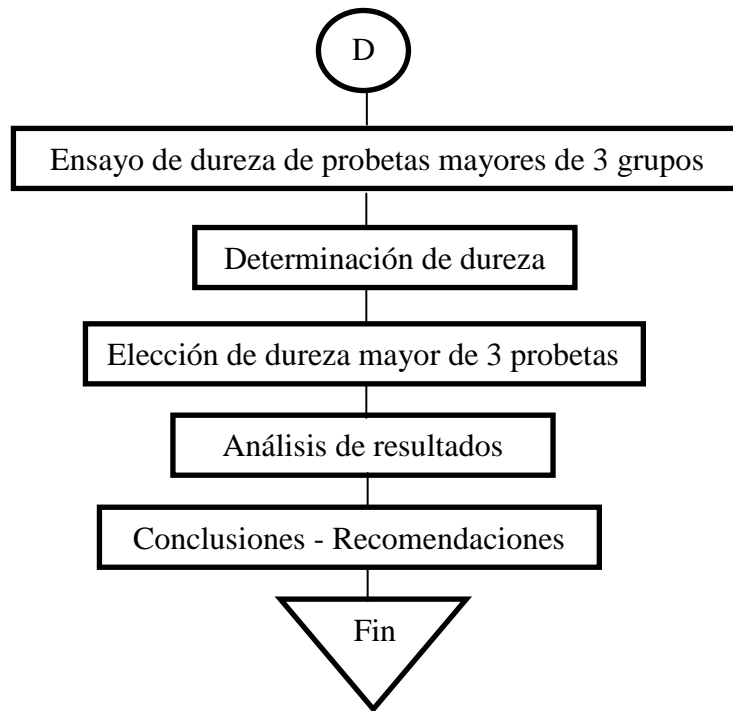
#### 4.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En el presente estudio se ha considerado el siguiente diagrama de flujo para obtener los datos de los resultados, el cual está guiado en orden del proceso de obtención del hierro nodular y su incidencia en las propiedades mecánicas en Fundiciones Lasser de la ciudad de Ambato







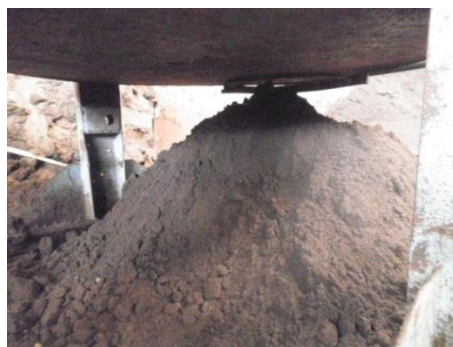


#### 4.1.1 Determinar parámetros de fundición

Los parámetros de fundición son elementos de suma importancia en la elaboración de una buena fundición, entre los cuales podemos mencionar: El tipo de arena, El tipo de horno, materia prima, elaboración de moldes, etc.

##### 4.1.1.1 Arena

El tipo de Arena usada es una Arena Sílice malla 80 la cual va a ser mezclada con 0,05 % bentonita proporcionalmente.



**Gráfico 4.1.1.1** Arena Sílice

**Fuente:** Autor

#### **4.1.1.2 Horno**

El Horno a utilizar para dicha fundiciones nodulares es un horno de inducción de media frecuencia que eleva la temperatura hasta los 1800°C de marca SEE-MEAN D de 300 Kva potencia de recuperación a 440 v con capacidad de 500 kg/h.

#### **4.1.1.3 Temperatura**

La temperatura ambiente en la fundidora es de 18 °C

#### **4.1.1.4 Material**

Dicho material se obtuvo de acero de recuperación de diferentes empresas de la ciudad, con el objetivo de mantener una materia de buena calidad sin óxido y de acero limpio.



**Gráfico 4.1.1.4** Materia prima para la fundición  
**Fuente:** Autor

#### **4.1.1.5 Moldes**

Los moldes para las fundiciones fueron de acero y de formas rectangulares y en otros casos cuadrados según sea el requerimiento y la necesidad de las piezas a ser fundidas.



**Gráfico 4.1.1.5** Preparación de moldes para la fundición  
**Fuente:** Autor

#### **4.1.1.6 Mezclador**

El mezclador es el medio por el cual nos permitió realizar la mezcla de la arena y bentonita de una manera más rápida.



**Gráfico 4.1.1.6** Mezclador de arenas  
**Fuente:** Autor

## **4.2 OBTENCIÓN DE PROBETAS DE COMPARACIÓN DE HIERRO NODULAR**

Para la obtención de probetas de hierro nodular hay que tener en cuenta las medidas de las probetas normalizadas para realizar un buen trabajo, como se mostrará a continuación información necesaria para su ejecución.

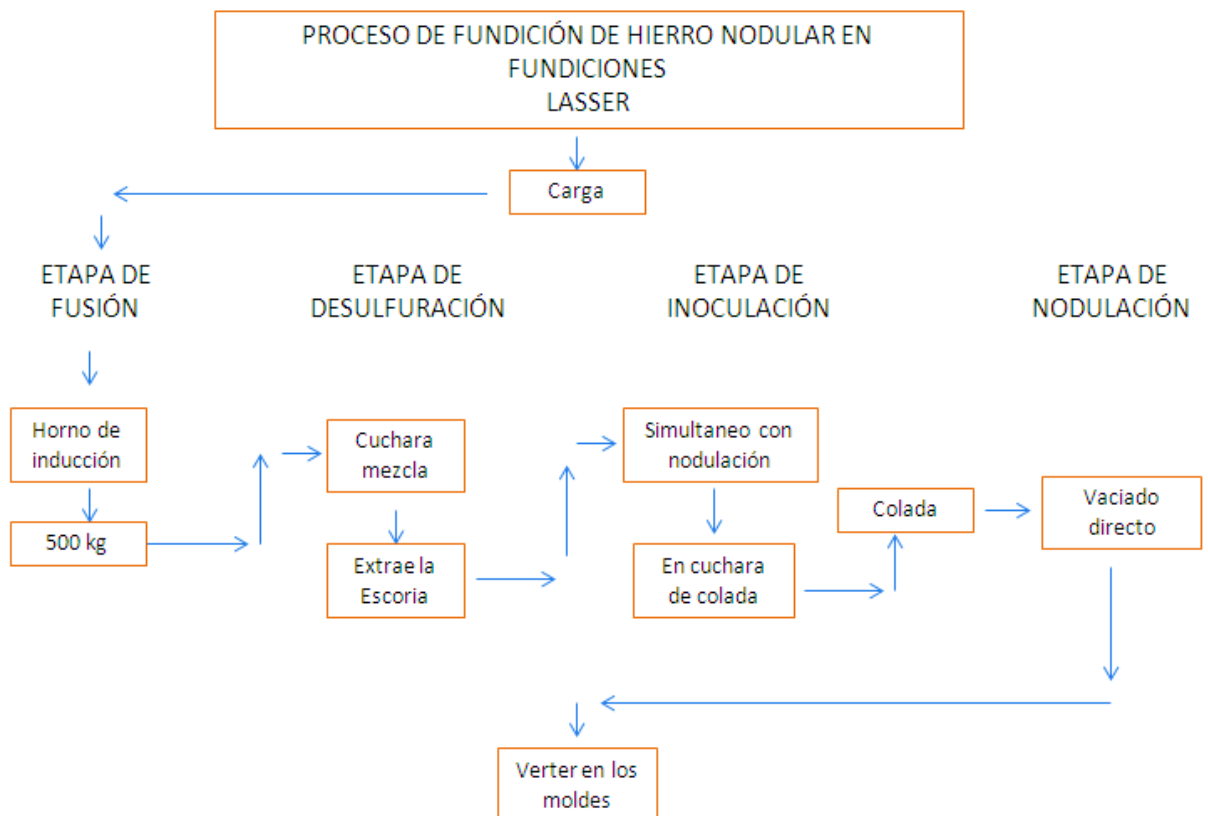
### 4.2.1 Fundiciones nodulares

Las fundiciones nodulares que fueron motivo del estudio se elaboraron en Fundiciones Lasser la cual está ubicada en Ambato en la avenida Indoamérica km 4 ½ vía a Quito.

Fundiciones Lasser se encargan de fundiciones de hierro, bronce, aluminio, alcantarillado, y piezas en general

Por medio de dicha fundidora, la elaboración de hierro nodular, fue elaborada en sus instalaciones, la cual brindó ayuda con la elaboración de probetas para el estudio a realizarse.

**Tabla 4.2.1 Proceso de fundición de hierro nodular en fundiciones lasser**



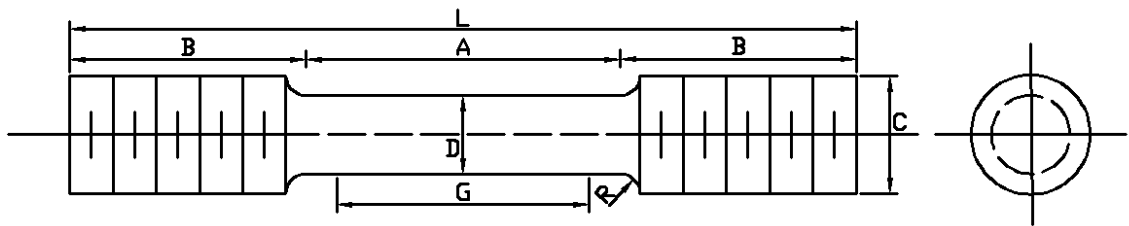
Fuente: Autor

#### 4.2.2 Normas de probetas

Las probetas de hierro nodular se elaboraron de acuerdo a la norma ASTM E 8 - 04 Norma de la Prueba de Métodos para la Tensión de Materiales

Las probetas elaboradas tienen las siguientes dimensiones.

**Tabla 4.2.2 Medidas de probetas estandarizadas**



	DIMENSIONES DE ESPECIMEN
	In
G longitud de medida	2.000 ± 0.005
D diámetro	0.500 ± 0.010
R radio de filete	3/8
A longitud de sección reducida	2 1/4, min
L longitud total de probeta	5
B longitud de final de sección	1 3/8
C Diámetro de final de sección	3/4
E longitud de Hombro y filete de sección, aproximadamente	...
F Diámetro del hombro	...

Fuente: [5] (ASTM E-08, 2003. p. 62)

#### 4.3 ENSAYOS

Los diferentes tipos de ensayos se realizaron de tal manera que nos permitieron determinar con mayor exactitud la mejor calidad de la fundición, como son ensayo de tracción, espectrometría, dureza, y análisis metalográfico.

#### **4.3.1 Tracción**

El ensayo de tracción se realizó de acuerdo a la norma ASTM E 8 -04 Norma de la Prueba de Métodos para la Tensión de Materiales en la cual nos especifica en si las dimensiones de probetas normalizadas. Este ensayo se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en la máquina universal con el propósito de analizar la resistencia última de tracción de cada tipo de probetas analizadas.

#### **4.3.2 Espectrometría**

El ensayo de espectrometría se realizó con el propósito de analizar la composición química de las fundiciones producidas, el tipo de espectrometría que se usó es el de chispa. Este ensayo va a ser ejecutado en los laboratorios de metalografía de la Empresa Novacero ubicado en la provincia de Cotopaxi sector Lasso y las probetas que fueron analizadas son los especímenes de mayor resistencia a tracción de cada tipo de grupo.

#### **4.3.3 Microestructura**




Este ensayo se realizó con el propósito de analizar la microestructura de las probetas de hierro nodular y observar microscópicamente el porcentaje de perlita y ferrita, la cual se ejecutó en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, las probetas a ser ensayadas fueron los especímenes de mayor resistencia a tracción de cada tipo de grupo.

#### **4.3.4 Dureza**

El ensayo de dureza se realizó en el laboratorio de materiales de la Empresa. Este ensayo fue ejecutado en los laboratorios de metalografía de la Empresa Novacero ubicado en la provincia de Cotopaxi sector Lasso, con el objetivo de analizar cuál de los especímenes de mayor resistencia a tracción de cada tipo de grupo obtendrá una dureza mucho mayor al resto y el que fue tomado en cuenta como la mejor alternativa de investigación.

## 4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Ficha 4.4 Datos informativos

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Probeta N°</b>	1	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes		
<b>Lugar de realización</b>	Laboratorio de Materiales – FICM	<b>Realizado por:</b>	José Miguel Lascano A.		
<b>Temperatura ambiente</b>	21 °C	<b>Fecha de ejecución</b>	18/12/2013		
<b>ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL UTILIZADO</b>					
<b>Material</b>		Hierro Fundido			
<b>Tipo de fundición</b>		Nodular			
<b>Diámetro</b>		1 Plg			
<b>Longitud</b>		6 Plg			
<b>Tratamiento térmico</b>		Ninguno			
<b>Características</b>		Eje			
<b>Detalle de probeta</b>					
					
<b>Observaciones:</b>					

Fuente: Autor

### Ficha 4.4.1 Ensayo tracción probeta N°1



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



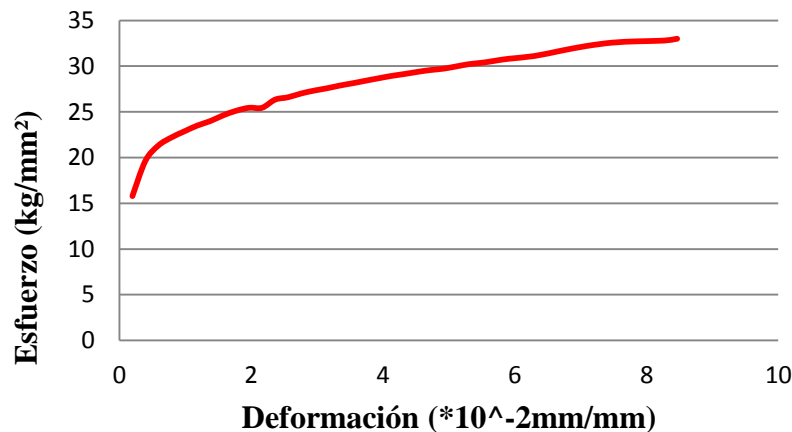
#### PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

<b>DESCRIPCIÓN:</b> Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 1	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
<b>Instrumento:</b>		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
<b>Fecha de ejecución:</b>	18-12-2013	<b>Supervisado por:</b>	Ayudante de ensayo de Materiales
<b>Método:</b>		Deformación controlada	
<b>Carga Máxima:</b>	4180.3 kg	<b>Carga de Ruptura:</b>	4180.3 kg

#### RESULTADO:

#### GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

#### PROBETA #1



#### Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{55.1 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 8.46\%$$

#### Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 119.98}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 5.28\%$$

#### Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad S_{ut} = \frac{4180.3 \text{ kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 33 \text{ kg/mm}^2 \quad S_{ut} = 46838.61 \text{ PSI}$$

Fuente: Autor



### Ficha 4.4.2 Ensayo tracción probeta N°2



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



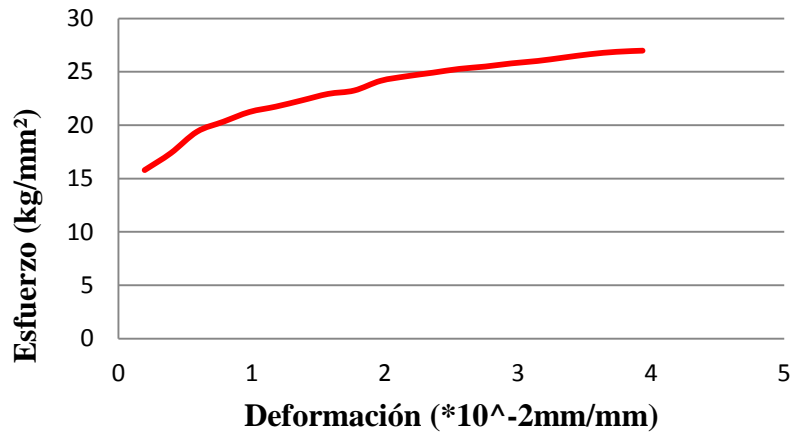
#### PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 2	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	3417.9 kg	Carga de Ruptura:	3417.9 kg

#### RESULTADO:

#### GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

#### PROBETA #2



#### Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{52.8 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 3.94\%$$

#### Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 118.05}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 6.80\%$$

#### Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad S_{ut} = \frac{3417.9 \text{ kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 26.98 \text{ kg / mm}^2 \quad S_{ut} = 38294.11 \text{ PSI}$$

Fuente: Autor

### Ficha 4.4.3 Ensayo tracción probeta N°3



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



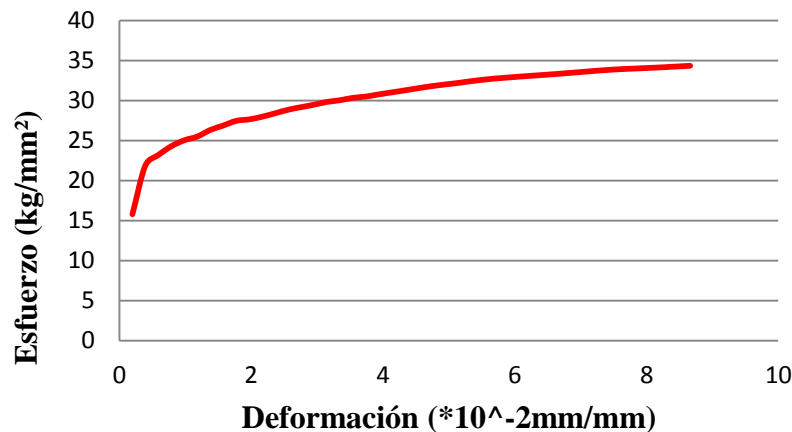
#### PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

<b>DESCRIPCIÓN:</b> Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 3	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
<b>Instrumento:</b>		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
<b>Fecha de ejecución:</b>	18-12-2013	<b>Supervisado por:</b>	Ayudante de ensayo de Materiales
<b>Método:</b>		Deformación controlada	
<b>Carga Máxima:</b>	4349.7 kg	<b>Carga de Ruptura:</b>	4349.7 kg

#### RESULTADO:

#### GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

#### PROBETA #3



#### Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{55.20 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 8.66\%$$

#### Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 124.68}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 1.57\%$$

#### Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad S_{ut} = \frac{4349.7 \text{ kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 34.33 \text{ kg} / \text{mm}^2 \quad S_{ut} = 48726.35 \text{ PSI}$$

Fuente: Autor

### Ficha 4.4.4 Ensayo tracción probeta N°4



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



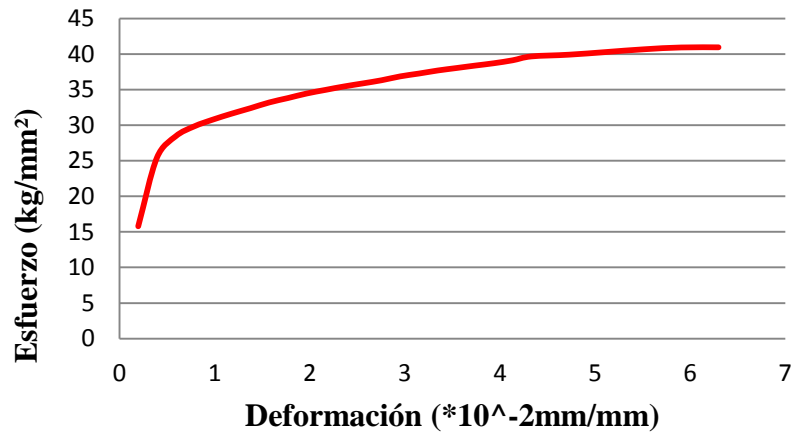
#### PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 4	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	5186.1 kg	Carga de Ruptura:	5186.1 kg

#### RESULTADO:

#### GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN

#### PROBETA #4



#### Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{54.0 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 6.30\%$$

#### Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 120.76}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 4.66\%$$

#### Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad S_{ut} = \frac{5186.1 \text{ kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 40.94 \text{ kg/mm}^2 \quad S_{ut} = 58108.27 \text{ PSI}$$

Fuente: Autor

Ficha 4.4.5 Ensayo tracción probeta N°5



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



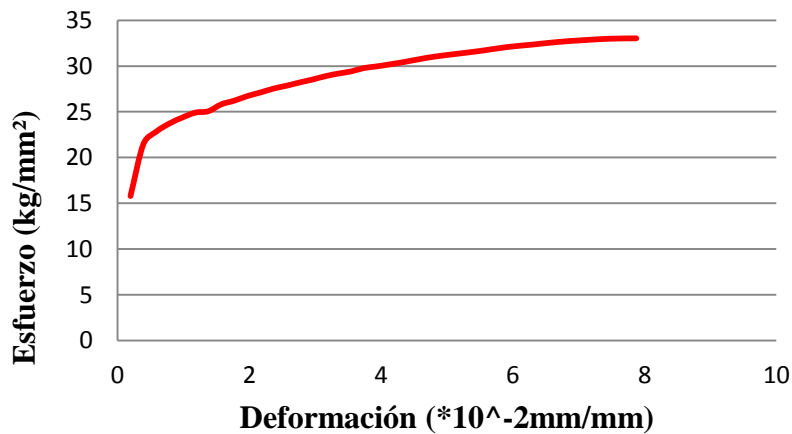
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N°5	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	4183.6 kg	Carga de Ruptura:	4183.6 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #5**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{54.8 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 7.87\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 121.54}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 4.04\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad Sut = \frac{4183.6 \text{ kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \quad Sut = 33.02 \text{ kg/mm}^2 \quad Sut = 46867 \text{ PSI}$$

Fuente: Autor

Ficha 4.4.6 Ensayo tracción probeta N°6



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



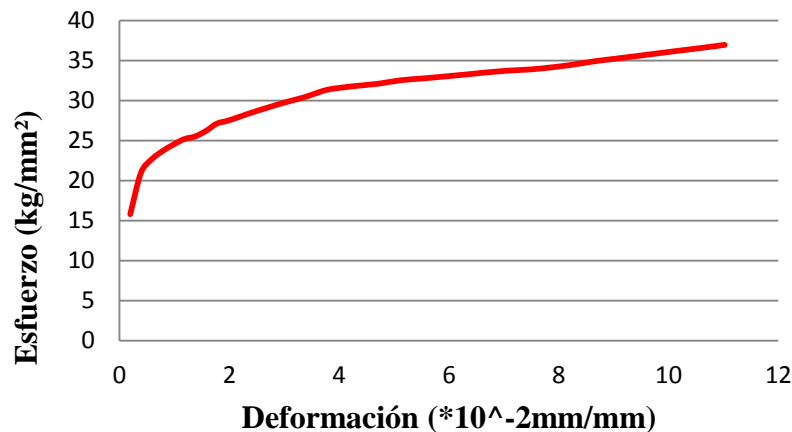
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 6	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	4680 kg	Carga de Ruptura:	4680 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #6**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{56.4 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 11.02\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 122.71}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 3.12\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad Sut = \frac{4680 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad Sut = 36.94 \text{kg} / \text{mm}^2 \quad Sut = 52430.86 \text{PSI}$$

Fuente: Autor

Ficha 4.4.7 Ensayo tracción probeta N°7



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



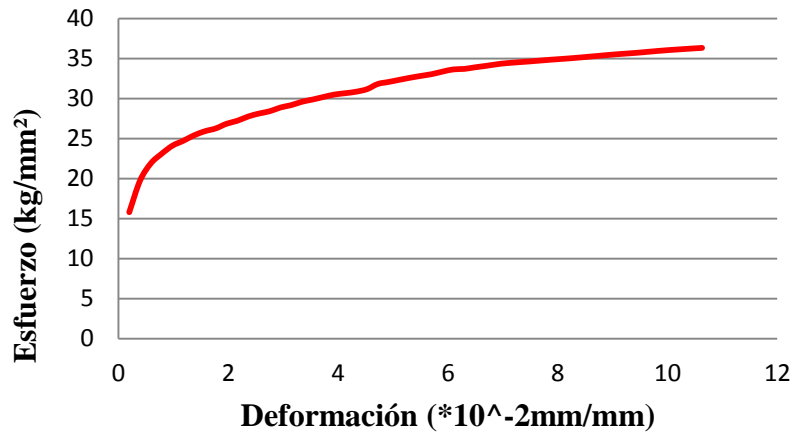
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 7	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	4601.2 kg	Carga de Ruptura:	4601.2 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #7**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{56.2 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 10.63\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 120.37}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 4.97\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad Sut = \frac{4601.2kg}{126.67mm^2} \quad Sut = 36.32kg/mm^2 \quad Sut = 51550.86PSI$$

Fuente: Autor

Ficha 4.4.8 Ensayo tracción probeta N°8



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



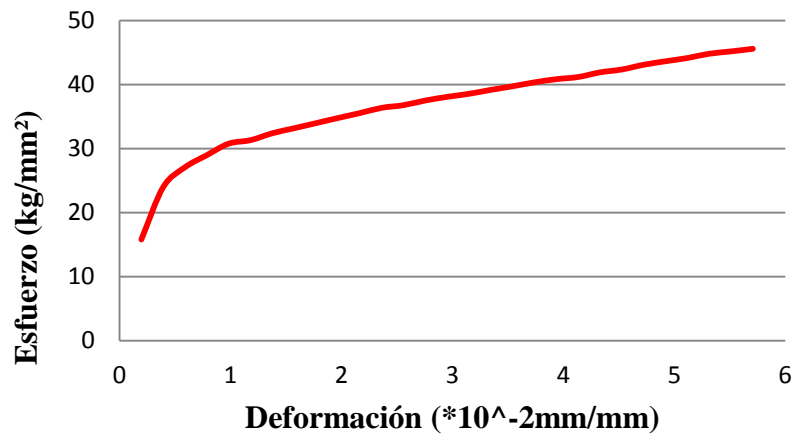
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 8	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	5773.6 kg	Carga de Ruptura:	5773.6 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #8**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{53.70 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 5.71\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{ reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{ reducción} = \frac{126.67 - 124.29}{126.67} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 1.87\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad S_{ut} = \frac{5773.6 \text{ Kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 45.57 \text{ kg/mm}^2 \quad S_{ut} = 64679.87 \text{ PSI}$$

Fuente: Autor

Ficha 4.4.9 Ensayo tracción probeta N°9



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



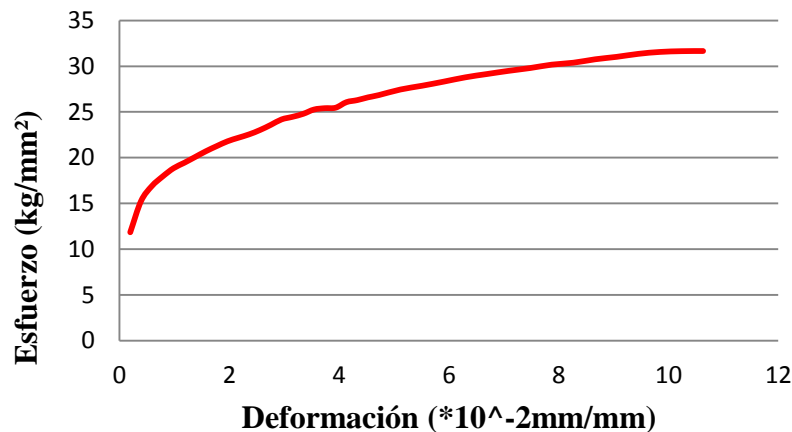
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 9	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	4010.3 kg	Carga de Ruptura:	4010.3 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #9**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{56.20 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 10.63\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 121.34}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 4.20\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad Sut = \frac{4010.3kg}{126.67mm^2} \quad Sut = 31.65kg / mm^2 \quad Sut = 44922.49PSI$$

Fuente: Autor



Ficha 4.4.10 Ensayo tracción probeta N°10



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



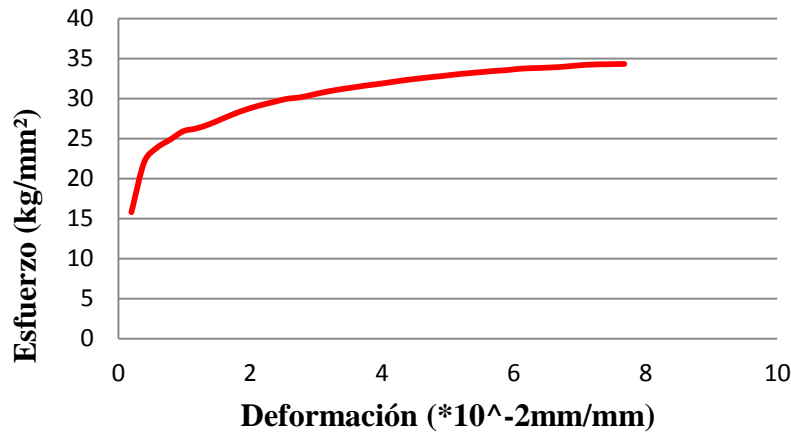
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 10	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	4346.9 kg	Carga de Ruptura:	4346.9 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #10**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{54.70 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 7.68\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 123.50}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 2.50\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad Sut = \frac{4346.9kg}{126.67mm^2} \quad Sut = 34.31kg / mm^2 \quad Sut = 48697.96PSI$$

Fuente: Autor

Ficha 4.4.11 Ensayo tracción probeta N°11



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



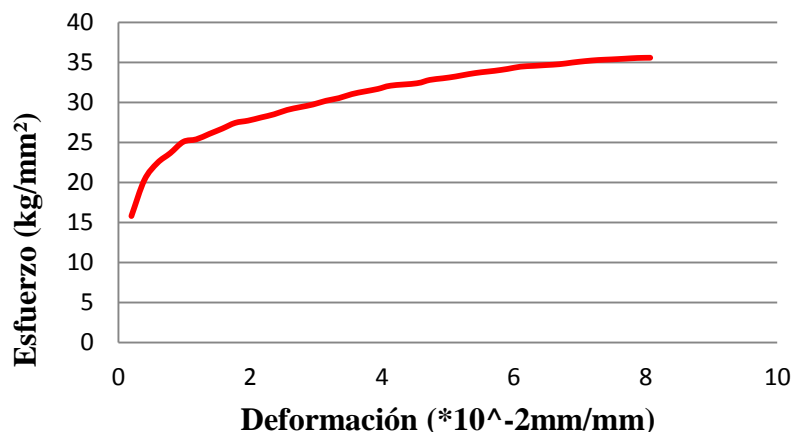
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 11	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	4505.9 kg	Carga de Ruptura:	4505.9 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #11**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{54.90 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 8.07\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 121.73}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 3.89\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad Sut = \frac{4505.9kg}{126.67mm^2} \quad Sut = 35.57kg/mm^2 \quad Sut = 50486.35PSI$$

Fuente: Autor

Ficha 4.4.12 Ensayo tracción probeta N°12



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



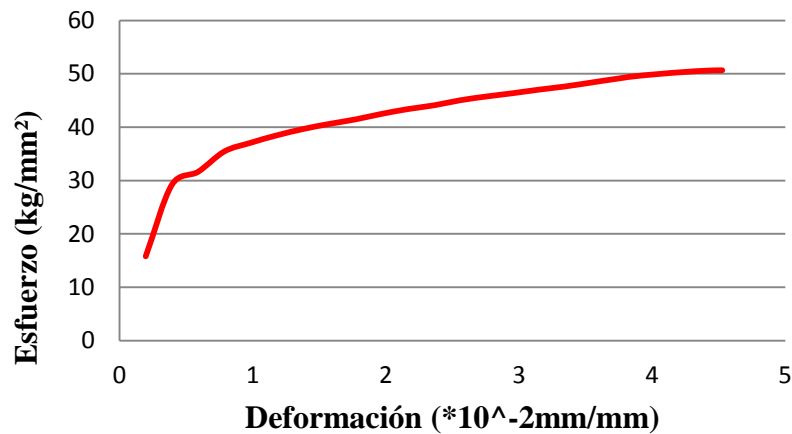
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 12	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	6417.9 kg	Carga de Ruptura:	6417.9 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #12**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{53.10 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 4.53\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 124.29}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 1.87\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad S_{ut} = \frac{6417.9 \text{kg}}{126.67 \text{mm}^2} \quad S_{ut} = 50.6 \text{kg/mm}^2 \quad S_{ut} = 71819.21 \text{PSI}$$

Fuente: Autor

Ficha 4.4.13 Ensayo tracción probeta N°13



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

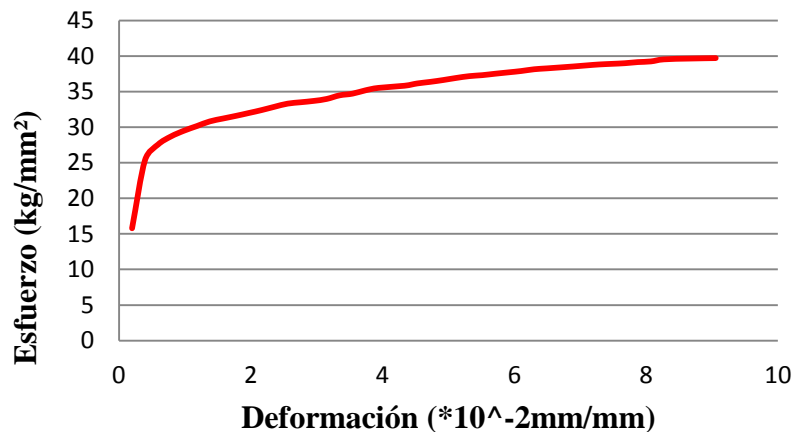


**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 13	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	5030 kg	Carga de Ruptura:	5030 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN  
 PROBETA #13**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{55.40 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 9.06\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 119.20}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 5.89\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad Sut = \frac{5030kg}{126.67mm^2} \quad Sut = 39.70kg / mm^2 \quad Sut = 56348.27 PSI$$

Fuente: Autor

Ficha 4.4.14 Ensayo tracción probeta N°14



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



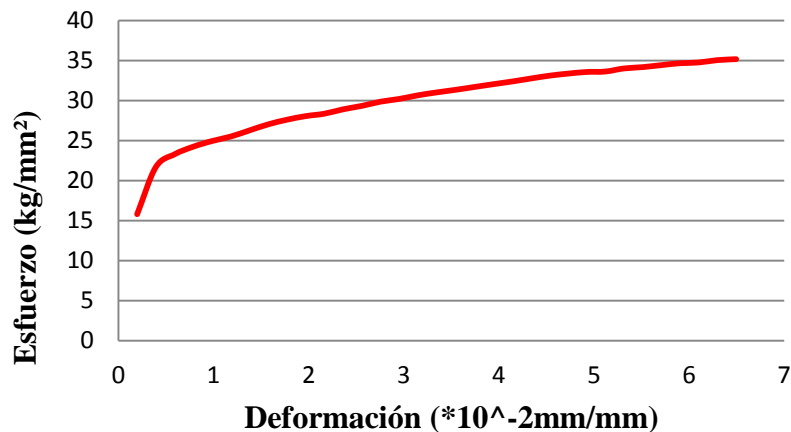
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 14	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	4454.3 kg	Carga de Ruptura:	4454.3 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #14**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{54.10 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 6.50\%$$

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 121.93}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 3.94\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$Sut = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad Sut = \frac{4454.3kg}{126.7mm^2} \quad Sut = 35.16kg / mm^2 \quad Sut = 49904.41PSI$$

Fuente: Autor

### Ficha 4.4.15 Ensayo tracción probeta N°15



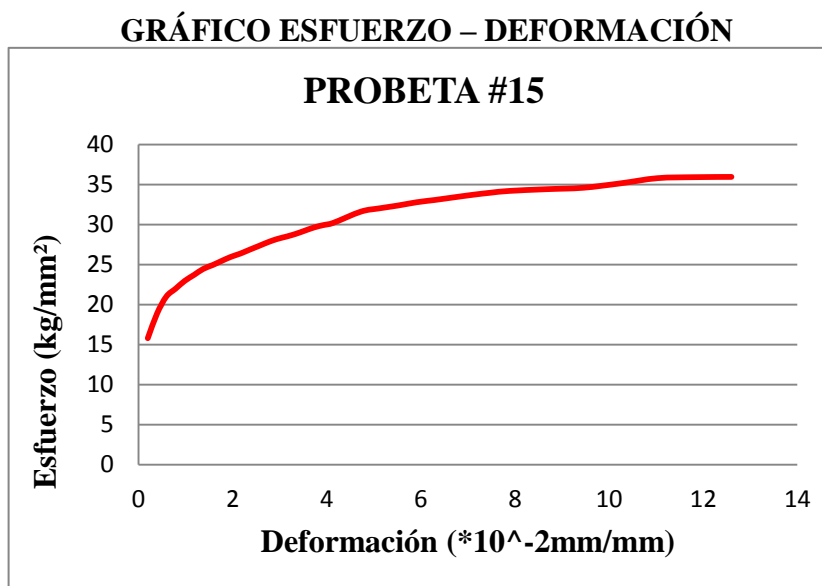
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



#### PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 15	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	4553.5 kg	Carga de Ruptura:	4553.5 kg

#### RESULTADO:



#### Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{57.20 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 12.60\%$$

#### Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):



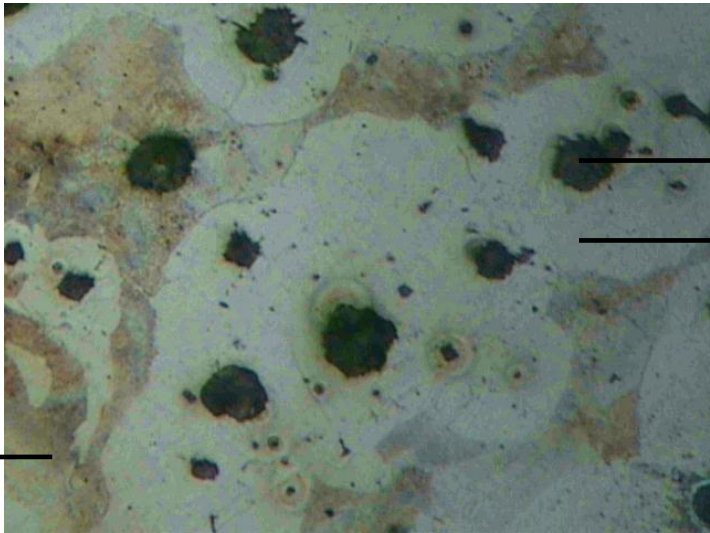
$$\% \text{reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{reducción} = \frac{126.67 - 122.91}{126.67} * 100 \quad \% \text{reducción} = 2.96\%$$

#### Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad S_{ut} = \frac{4553.5 \text{ kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 35.94 \text{ kg / mm}^2 \quad S_{ut} = 51011.51 \text{ PSI}$$

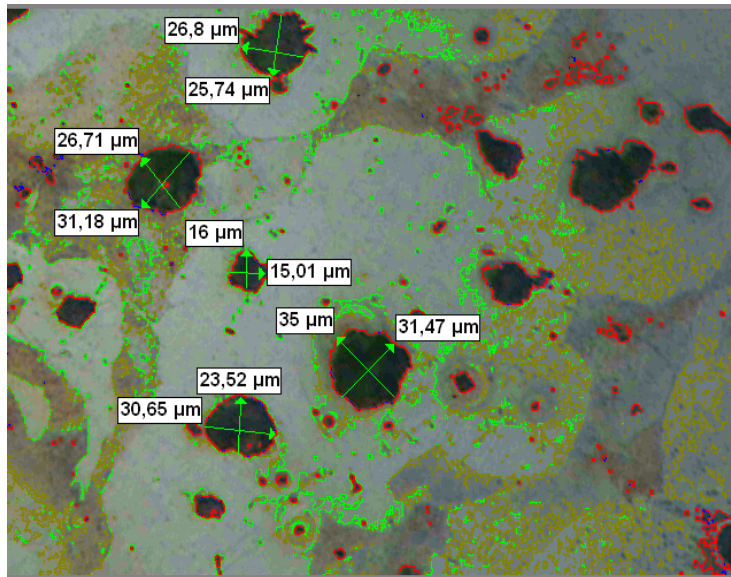
Fuente: Autor

Ficha 4.4.16 Ensayo metalográfico probeta N°4

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>			
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Datos informativos</b>			<b>Parámetros de lugar de ensayo</b>		
<b>Ensayo N°</b>	01 Probeta #4		<b>Lugar</b>	Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico	
<b>Tipo de estudio</b>	De Laboratorio		<b>Temperatura ambiente</b>	18 °C	
<b>Solicitado por</b>	UTA – FICM				
<b>Supervisado por</b>	Ing. Juan Paredes				
<b>Realizado por</b>	José M. Lascano A				
<b>Fecha</b>	03/01/2014				
<b>Parámetros de ensayo metalográfico</b>					
<b>Tipo de superficie</b>			Pulido Mecánico Tipo Espejo		
<b>Temperatura</b>			28 °C		
<b>Ataque químico</b>			Nital 2		
<b>Tiempo de preparación de superficie</b>			30 min		
<b>Duración de ensayo</b>			30 min		
<b>Resultados: FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO NODULAR (200X)</b>					
					
Perlita ←				Grafito Nodular → Cementita →	
Hierro Fundido Nodular 200X, Nital 2, 10 seg.					



**EVALUACION DE MICROESTRUCTURA**  
**Microestructura: Hierro Fundido Nodular**



**Determinación de tamaño de grano o laminas del grafito**

**Cálculos:**

**Nódulo Grande**

$$\frac{(35 + 31.47)}{2} = 33.235 \mu\text{m}$$

**Nódulo Promedio**

$$\frac{(26.8 + 25.74)}{2} = 26.27 \mu\text{m}$$

$$\frac{(26.71 + 31.18)}{2} = 28.945 \mu\text{m}$$

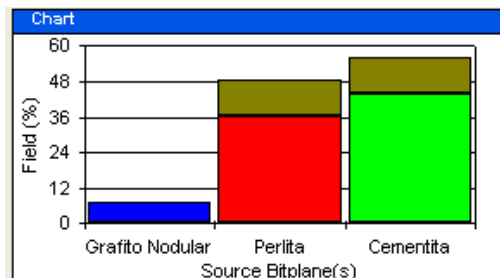
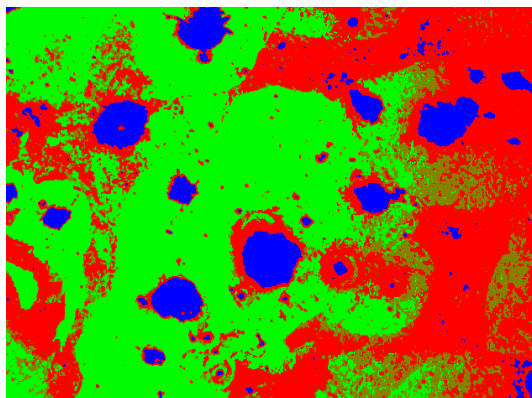
$$\frac{(30.65 + 23.52)}{2} = 27.08 \mu\text{m}$$

$$(26.27 + 28.945 + 27.08) / 3 = 27.43 \mu\text{m}$$

**Nódulo Pequeño**

$$\frac{(16 + 15.012)}{2} = 15.506 \mu\text{m}$$

**Porcentajes de constituyentes**



S. Bitplane(s)	Field (%)
Grafito Nodular	7,3 (7,2)
Perlita	48,8 (36,7)
Cementita	56,0 (44,1)

**Interpretación de resultados**

La microestructura del Hierro Fundido Nodular utilizando software, se llegó a obtener nódulos de grafito de diferentes tamaños, el de mayor tamaño 33.235 μm, el nódulo promedio 27.43 μm y el nódulo pequeño 15.506 μm. Está constituida de Grafito Nodular, Perlita y Cementita en porcentajes volumétricos de 7.2%, 36.7% y 44.1% respectivamente.



Ficha 4.4.17 Ensayo metalográfico probeta N°8



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



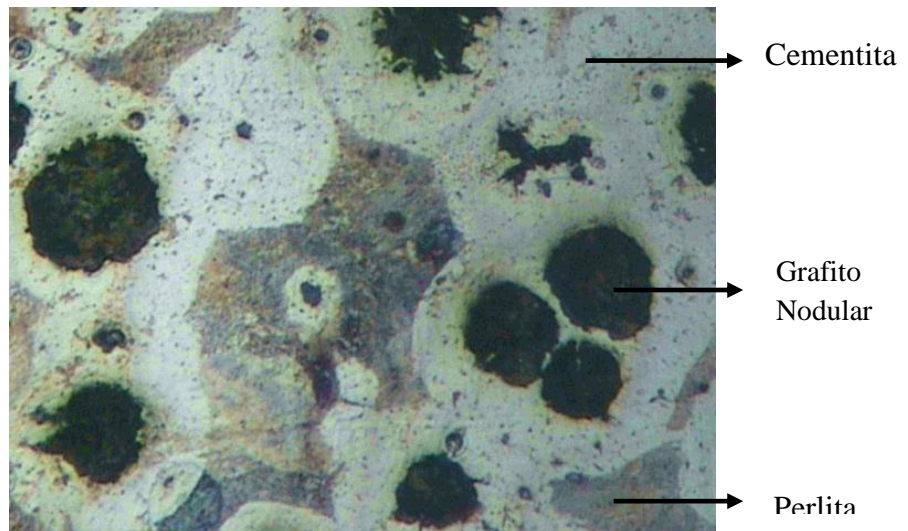
**ENSAYO METALOGRAFICO**

Datos informativos		Parámetros de lugar de ensayo	
Ensayo N°	01 Probeta #8	Lugar	Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico
Tipo de estudio	De Laboratorio	Temperatura ambiente	18 °C
Solicitado por	UTA – FICM		
Supervisado por	Ing. Juan Paredes		
Realizado por	José M. Lascano A		
Fecha	03/01/2014		

**Parámetros de ensayo metalográfico**

Tipo de superficie	Pulido Mecánico Tipo Espejo
Temperatura	28 °C
Ataque químico	Nital 2
Tiempo de preparación de superficie	30 min
Duración de ensayo	30 min

**Resultados: FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO NODULAR (200X)**

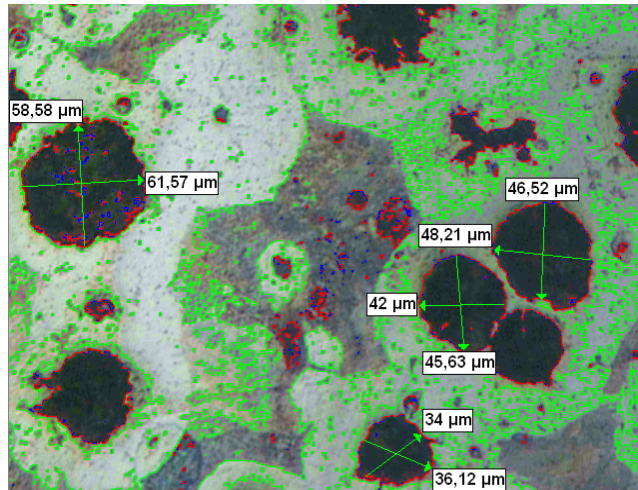


Hierro Fundido Nodular 200X, Nital 2, 10 seg.



**EVALUACION DE MICROESTRUCTURA**

**Microestructura: Hierro Fundido Nodular**



**Determinación de tamaño de grano o laminas del grafito**

**Cálculos:**

**Nódulo Grande**

$$\frac{(58.58 + 61.57)}{2} = 60.075 \mu\text{m}$$

**Nódulo Promedio**

$$\frac{(48.21 + 46.52)}{2} = 47.365 \mu\text{m}$$

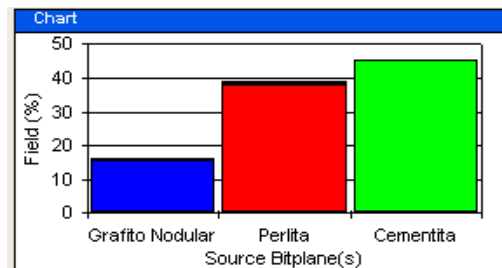
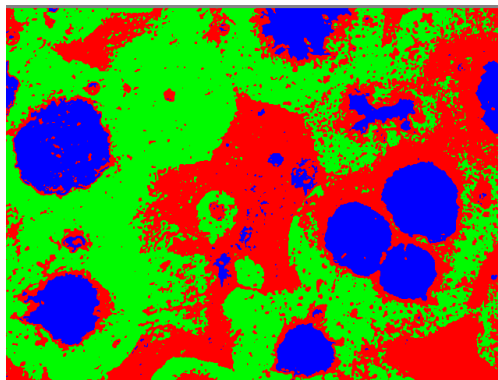
$$\frac{(42 + 45.63)}{2} = 43.815 \mu\text{m}$$

$$(47.365 + 43.815) / 2 = 45.59 \mu\text{m}$$

**Nódulo Pequeño**

$$\frac{(34 + 36.12)}{2} = 35.06 \mu\text{m}$$

**Porcentajes de constituyentes**



S. Bitplane(s)	Field (%)
Grafito Nodular	16,3 (15,8)
Perlita	38,9 (38,4)
Cementita	45,3

**Interpretación de resultados**

La microestructura del Hierro Fundido Nodular utilizando software, se llegó a obtener nódulos de grafito de diferentes tamaños, el de mayor tamaño 60.075 μm, el nódulo promedio 45.59 μm y el nódulo pequeño 35.06 μm. Está constituida de Grafito Nodular, Perlita y Cementita en porcentajes volumétricos de 15.8%, 38.4% y 45.3% respectivamente.

Fuente: Autor

Ficha 4.4.18 Ensayo metalográfico probeta N°12



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



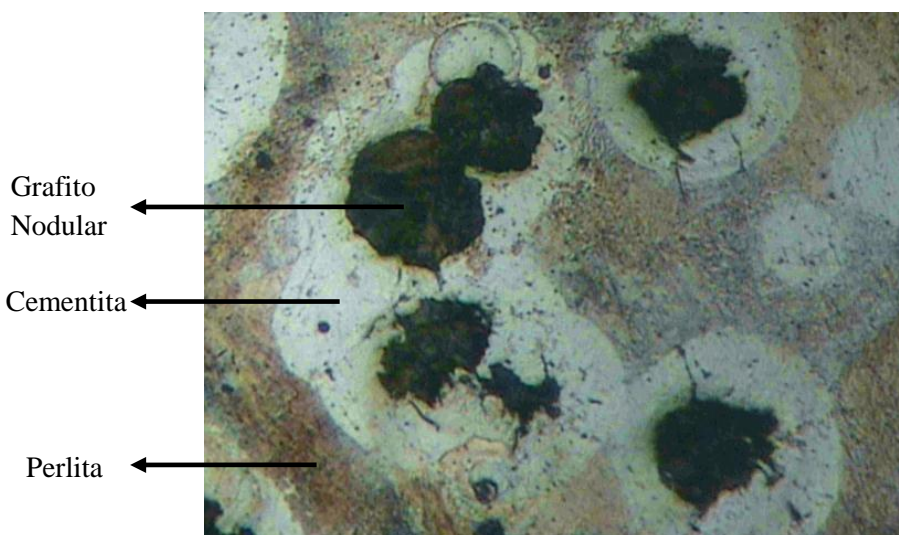
**ENSAYO METALOGRAFICO**

Datos informativos		Parámetros de lugar de ensayo	
Ensayo N°	01 Probeta #12	Lugar	Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico
Tipo de estudio	De Laboratorio	Temperatura ambiente	18 °C
Solicitado por	UTA – FICM		
Supervisado por	Ing. Juan Paredes		
Realizado por	José M. Lascano A		
Fecha	03/01/2014		

**Parámetros de ensayo metalográfico**

Tipo de superficie	Pulido Mecánico Tipo Espejo
Temperatura	28 °C
Ataque químico	Nital 2
Tiempo de preparación de superficie	30 min
Duración de ensayo	30 min

**Resultados: FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO NODULAR (200X)**

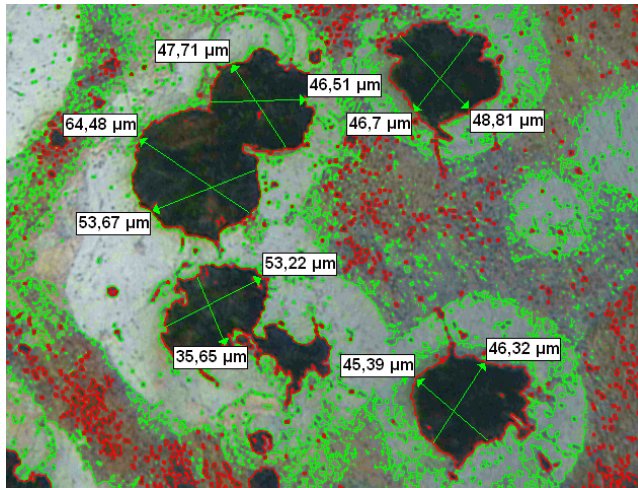


Hierro Fundido Nodular 200X, Nital 2, 10 seg.



**EVALUACION DE MICROESTRUCTURA**

**Microestructura: Hierro Fundido Nodular**



**Determinación de tamaño de grano o laminas del grafito**

**Cálculos:**

**Nódulo Grande**

$$\frac{(64.48 + 53.67)}{2} = 59.075 \mu\text{m}$$

**Nódulo Promedio**

$$\frac{(47.71 + 46.51)}{2} = 47.11 \mu\text{m}$$

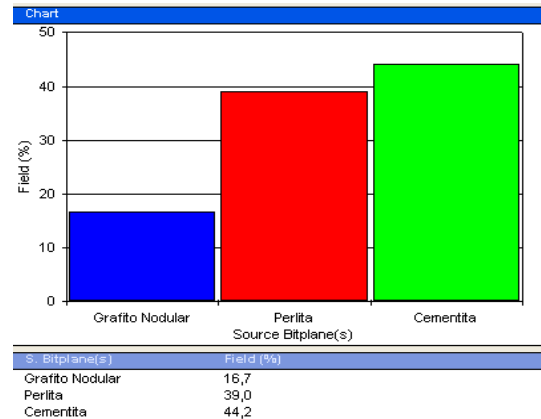
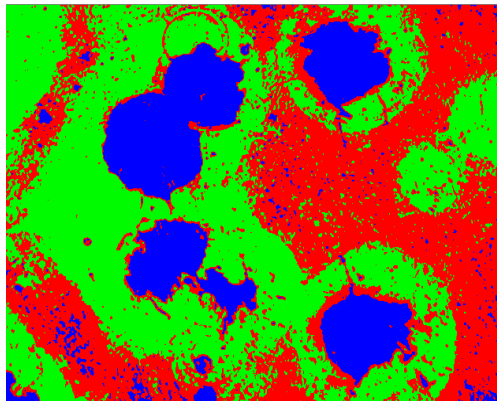
$$\frac{(46.7 + 48.81)}{2} = 47.755 \mu\text{m}$$

$$\frac{(46.32 + 45.39)}{2} = 45.855 \mu\text{m}$$

$$\frac{(53.22 + 35.65)}{2} = 44.435 \mu\text{m}$$

$$(47.71 + 47.755 + 45.855 + 44.435 / 4) = 46.438 \mu\text{m}$$

**Porcentajes de constituyentes**



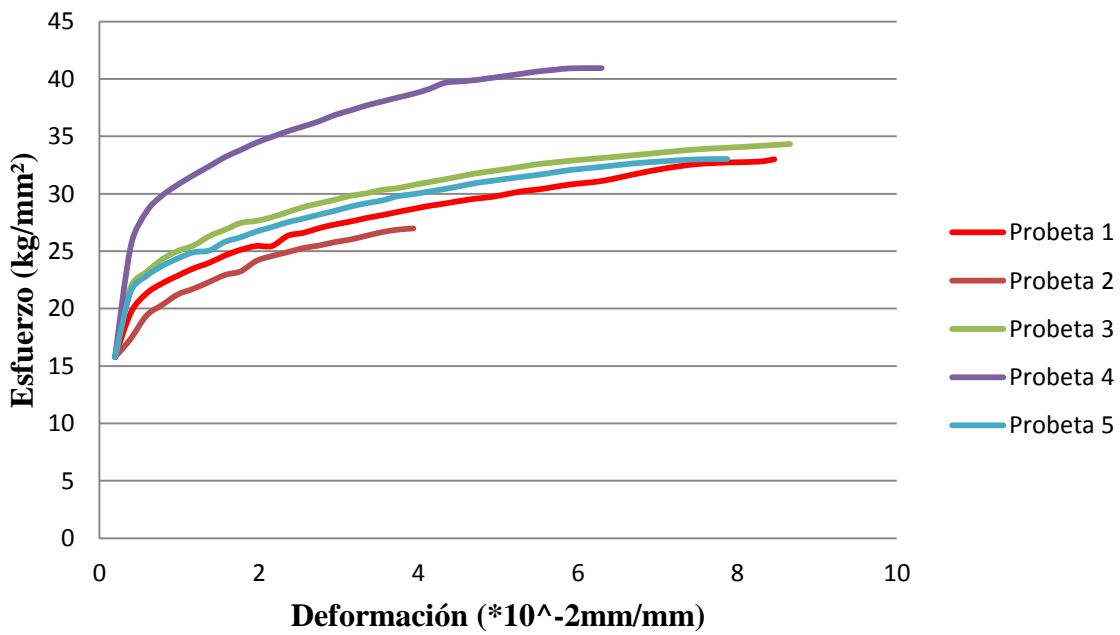


**Interpretación de resultados**

La microestructura del Hierro Fundido Nodular utilizando software, se llegó a obtener nódulos de grafito de diferentes tamaños, el de mayor tamaño 59.075 μm, el nódulo promedio 46.438 μm. Está constituida de Grafito Nodular, Perlita y Cementita en porcentajes volumétricos de 16.7%, 39% y 44.2 % respectivamente.



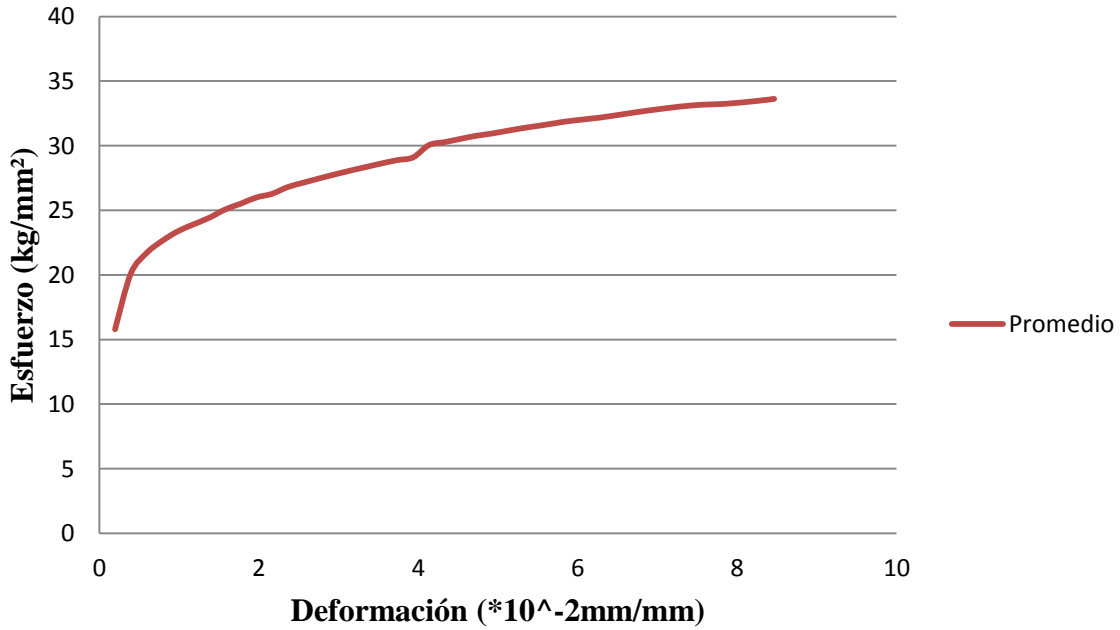
Fuente: Autor

### Ficha 4.4.19 Gráfica deformación-esfuerzo grupo1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
Gráficas Deformación-Esfuerzo			
Datos Informativos:			
<b>Tipo de Gráfica:</b>	Gráfica de dispersión		
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	Grupo 1		
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	07/01/2014
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>			
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes
Gráfica			
<b>Grupo 1</b> 			
<b>RESULTADO:</b>			



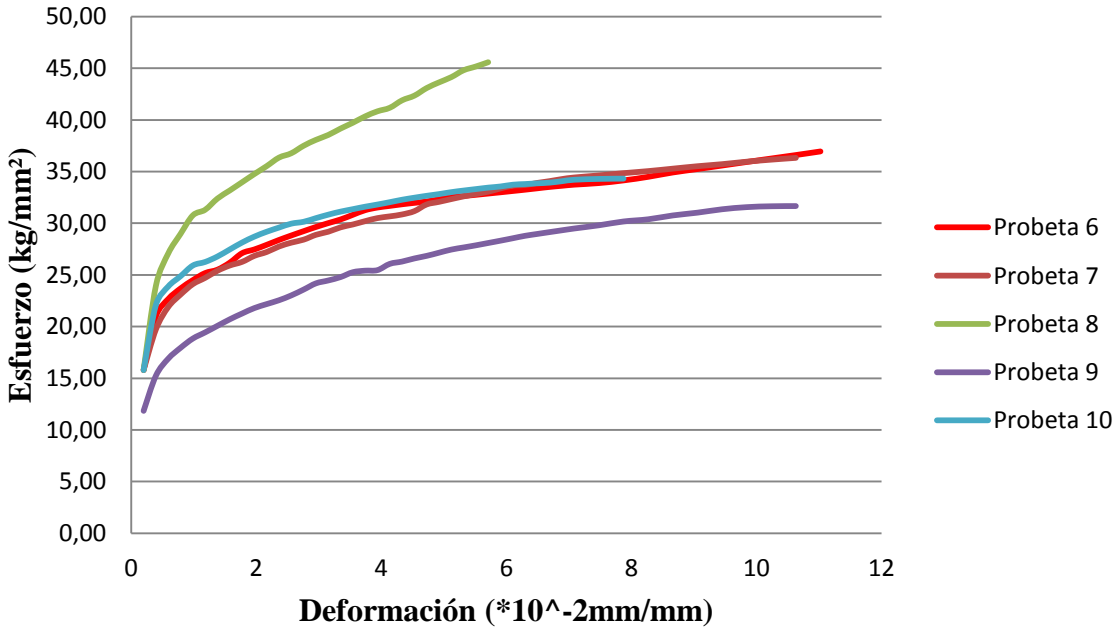
Fuente: Autor

Ficha 4.4.20 Gráfica promedio deformación-esfuerzo grupo 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
Gráficas Deformación-Esfuerzo			
Datos Informativos:			
<b>Tipo de Gráfica:</b>	Gráfica de dispersión		
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Grupo 1
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	07/01/2014
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>			
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes
Gráfica Promedio			
<b>Grupo 1</b> 			
<b>RESULTADO:</b>			



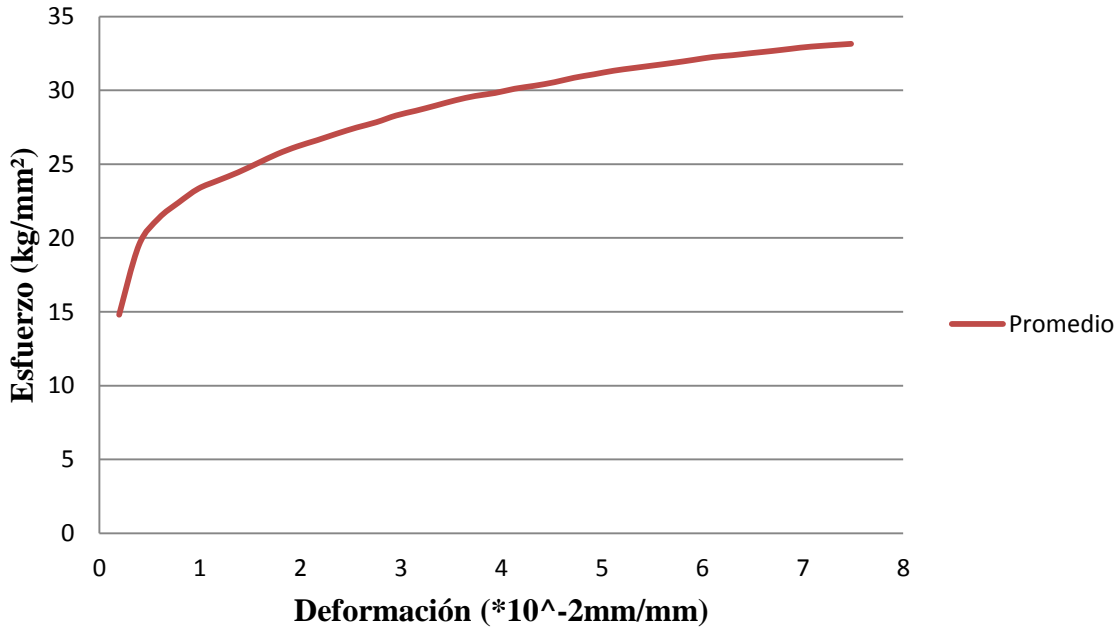
Fuente: Autor

Ficha 4.4.21 Gráfica deformación-esfuerzo grupo 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Gráficas Deformación-Esfuerzo			
Datos Informativos:			
<b>Tipo de Gráfica:</b>		Gráfica de dispersión	
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Grupo 2
<b>Solicitado por:</b>		UTA – FICM	<b>Fecha:</b> 07/01/2014
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>			
<b>Realizado por:</b>		José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b> Ing. Juan Paredes
Gráfica			
<b>Grupo 2</b> 			
<b>RESULTADO:</b>			

Fuente: Autor



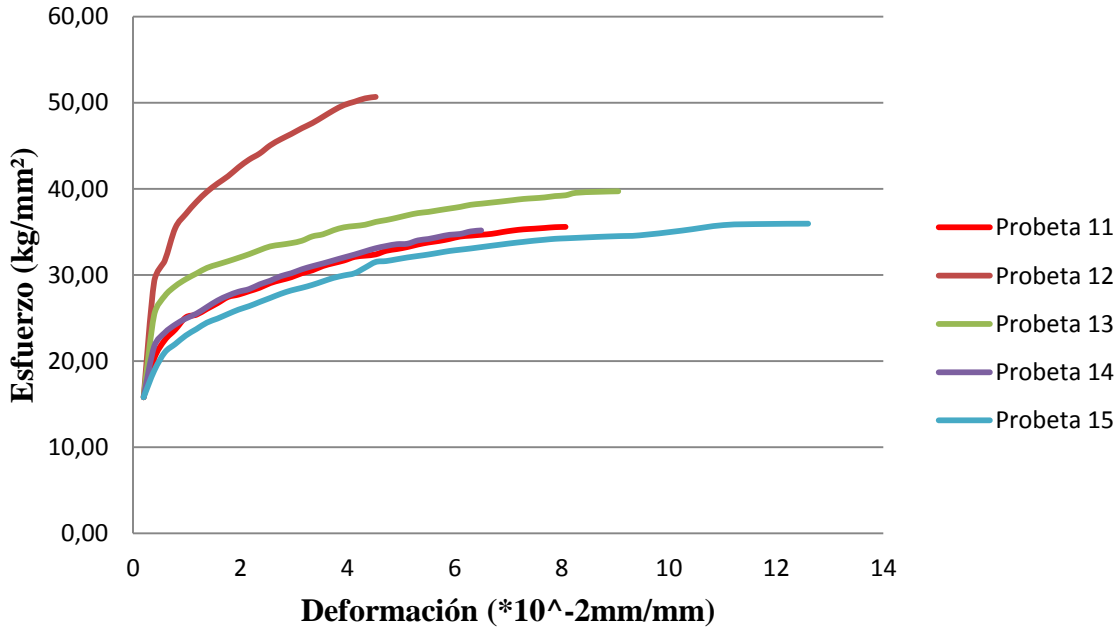
Ficha 4.4.22 Gráfica promedio deformación-esfuerzo grupo 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 	
Gráficas Deformación-Esfuerzo	
Datos Informativos:	
<b>Tipo de Gráfica:</b>	Gráfica de dispersión
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	Grupo 2
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM
<b>Fecha:</b>	07/01/2014
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>	
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A
<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes
Gráfica Promedio	
<b>Grupo 2</b> 	
<b>RESULTADO:</b>	

Fuente: Autor



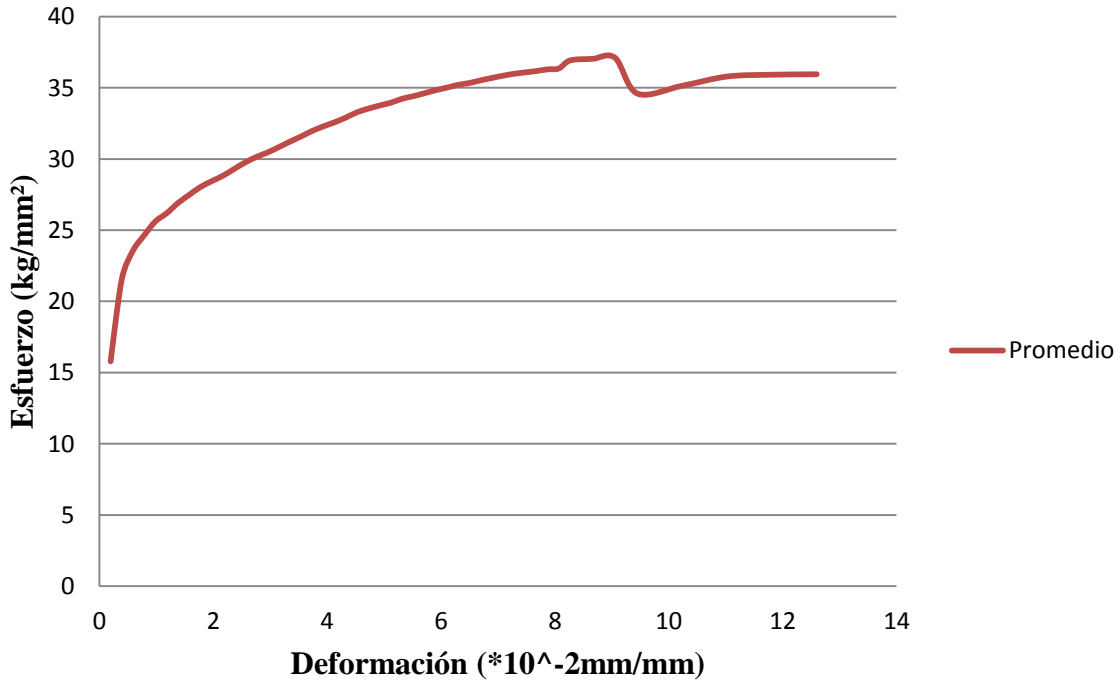


Ficha 4.4.23 Gráfica deformación-esfuerzo grupo 3

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 	
Gráficas Deformación-Esfuerzo	
Datos Informativos:	
<b>Tipo de Gráfica:</b>	Gráfica de dispersión
<b>Identificación del componente de estudio:</b> Grupo 3	
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM
<b>Fecha:</b>	07/01/2014
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>	
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A
<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes
Gráfica	
<b>Grupo 3</b> 	
<b>RESULTADO:</b>	



Fuente: Autor

Ficha 4.4.24 Gráfica promedio deformación-esfuerzo grupo 3

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 	
Gráficas Deformación-Esfuerzo	
Datos Informativos:	
<b>Tipo de Gráfica:</b>	Gráfica de dispersión
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	Grupo 3
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM
<b>Fecha:</b>	07/01/2014
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>	
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A
<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes
Gráfica Promedio	
<b>Grupo 3</b> 	
<b>RESULTADO:</b>	

Fuente: Autor

Ficha 4.4.25 Gráfica deformación-esfuerzo mayor de tres grupos

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																																							
Gráficas Deformación-Esfuerzo																																							
Datos Informativos:																																							
<b>Tipo de Gráfica:</b>	Gráfica de dispersión																																						
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	Grupo total																																						
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	07/01/2014																																				
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>																																							
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes																																				
Gráfica																																							
<b>Tres Probetas Mayores</b>																																							
<table border="1"> <caption>Datos estimados del gráfico de deformación-esfuerzo</caption> <thead> <tr> <th>Deformación (*10<sup>-2</sup>mm/mm)</th> <th>Esfuerzo (kg/mm<sup>2</sup>) - Probeta 4</th> <th>Esfuerzo (kg/mm<sup>2</sup>) - Probeta 8</th> <th>Esfuerzo (kg/mm<sup>2</sup>) - Probeta 12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.2</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>25</td><td>25</td><td>30</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>30</td><td>30</td><td>38</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>35</td><td>35</td><td>42</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>38</td><td>38</td><td>45</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>40</td><td>40</td><td>48</td></tr> <tr><td>5.0</td><td>41</td><td>44</td><td>-</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>41</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>				Deformación (*10 <sup>-2</sup> mm/mm)	Esfuerzo (kg/mm <sup>2</sup> ) - Probeta 4	Esfuerzo (kg/mm <sup>2</sup> ) - Probeta 8	Esfuerzo (kg/mm <sup>2</sup> ) - Probeta 12	0.2	15	15	15	0.5	25	25	30	1.0	30	30	38	2.0	35	35	42	3.0	38	38	45	4.0	40	40	48	5.0	41	44	-	6.0	41	-	-
Deformación (*10 <sup>-2</sup> mm/mm)	Esfuerzo (kg/mm <sup>2</sup> ) - Probeta 4	Esfuerzo (kg/mm <sup>2</sup> ) - Probeta 8	Esfuerzo (kg/mm <sup>2</sup> ) - Probeta 12																																				
0.2	15	15	15																																				
0.5	25	25	30																																				
1.0	30	30	38																																				
2.0	35	35	42																																				
3.0	38	38	45																																				
4.0	40	40	48																																				
5.0	41	44	-																																				
6.0	41	-	-																																				
<b>RESULTADO:</b>																																							




Fuente: Autor

**Ficha 4.4.26 Ensayo de dureza probeta N°4**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>							
<b>Datos Informativos:</b>							
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	01				
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Probeta N° 4					
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	15/01/2014				
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Control de Calidad NOVACERO					
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes				
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>							
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico						
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20.6°C	<b>Otros:</b>					
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>							
<b>DESCRIPCIÓN:</b>							
<b>Método:</b>	Brinell						
<b>Tipo de penetrador:</b>	Indentador 3mm						
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	50 PSI	<b>Tiempo de ensayo:</b>	5 min				
<b>RESULTADO:</b>		<b>DETALLE REFERENCIAL</b>					
<table border="1"> <tr> <td>N°</td> <td>Dureza HB</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>117 HB</td> </tr> </table>	N°	Dureza HB	Promedio	117 HB			
N°	Dureza HB						
Promedio	117 HB						
<p>Nota: Resultados obtenidos bajo informe de Novacero Anexo 2</p>							
<p>La dureza promedio es: <b>117 BRINELL (HB)</b></p>							




Fuente: Autor

**Ficha 4.4.27 Ensayo de dureza probeta N°8**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>							
<b>Datos Informativos:</b>							
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	01				
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Probeta N° 8					
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	15/01/2014				
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Control de Calidad NOVACERO					
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes				
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>							
<b>Lugar:</b>		Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico					
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20.6°C	<b>Otros:</b>					
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>							
<b>DESCRIPCIÓN:</b>							
<b>Método:</b>	Brinell						
<b>Tipo de penetrador:</b>	Indentador 3mm						
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	50 PSI	<b>Tiempo de ensayo:</b>	5 min				
<b>RESULTADO:</b>		<b>DETALLE REFERENCIAL</b>					
<table border="1"> <tr> <td>N°</td> <td>Dureza HB</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>132 HB</td> </tr> </table>	N°	Dureza HB	Promedio	132 HB			
N°	Dureza HB						
Promedio	132 HB						
<p>Nota: Resultados obtenidos bajo informe de Novacero Anexo 2</p>							
<p>La dureza promedio es: <b>132 BRINELL (HB)</b></p>							



Fuente: Autor

**Ficha 4.4.28 Ensayo de dureza probeta N°12**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>						
<b>Datos Informativos:</b>						
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b> 01				
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	Probeta N° 12					
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b> 15/01/2014				
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>	Laboratorio de Control de Calidad NOVACERO					
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b> Ing. Juan Paredes				
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>						
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico					
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20.6°C	<b>Otros:</b>				
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>						
<b>DESCRIPCIÓN:</b>						
<b>Método:</b>	Brinell					
<b>Tipo de penetrador:</b>	Indentador 3mm					
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	50 PSI	<b>Tiempo de ensayo:</b> 5 min				
<b>RESULTADO:</b>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b>					
<table border="1"> <tr> <th>N°</th> <th>Dureza HB</th> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>178 HB</td> </tr> </table>	N°	Dureza HB	Promedio	178 HB		
N°	Dureza HB					
Promedio	178 HB					
<p>Nota: Resultados obtenidos bajo informe de Novacero Anexo 2</p>						
<p>La dureza promedio es: <b>178 BRINELL (HB)</b></p>						



Fuente: Autor

Ficha 4.4.29 Ensayo espectrométrico probeta N°4

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>				
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	01	
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Probeta N° 4		
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	15/01/2014	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Control de Calidad NOVACERO		
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>				
<b>Descripción:</b>				
<b>Tipo:</b>	De Chispa			
<b>Operador :</b>	Miguel Lomas			
<b>Máquina:</b>	Espectrómetro de rayos x edx-720			
<b>Canal de Ensayo:</b>	Energy test			
<b>RESULTADO:</b>				
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>				
<b>ANALYTE</b>	<b>RESULT</b>	<b>(STD.DEV.)</b>	<b>PROC. CALC.</b>	<b>LINE</b>
<b>Fe</b>	93.272%	0.066	QUAN-FP	FeKa
<b>Si</b>	1.820%	0.018	QUAN-FP	SiKa
<b>Mn</b>	0.269%	0.006	QUAN-FP	MnKa
<b>Cr</b>	0.085%	0.003	QUAN-FP	CrKa
<b>Cu</b>	0.044%	0.003	QUAN-FP	CuKa
<b>C</b>	4.176%	0.000	QUAN-FP	CKa
Nota: Resultados obtenidos bajo informe de Novacero Anexo 1				

Fuente: Autor



Ficha 4.4.30 Ensayo espectrométrico probeta N°8

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>				
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	01	
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Probeta N° 8		
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	15/01/2014	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Control de Calidad NOVACERO		
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>				
<b>Descripción:</b>				
<b>Tipo:</b>	De Chispa			
<b>Operador :</b>	Miguel Lomas			
<b>Máquina:</b>	Espectrómetro de rayos x edx-720			
<b>Canal de Ensayo:</b>	Energy test			
<b>RESULTADO:</b>				
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>				
<b>ANALYTE</b>	<b>RESULT</b>	<b>(STD.DEV.)</b>	<b>PROC. CALC.</b>	<b>LINE</b>
<b>Fe</b>	95.072%	0.069	QUAN-FP	FeKa
<b>Si</b>	2.199%	0.022	QUAN-FP	SiKa
<b>Mn</b>	0.264%	0.005	QUAN-FP	MnKa
<b>Al</b>	0.177%	0.016	QUAN-FP	AlKa
<b>Cu</b>	0.043%	0.003	QUAN-FP	CuKa
<b>S</b>	0.027%	0.002	QUAN-FP	SKa
<b>C</b>	2.012%	0.000	QUAN-FP	0
Nota: Resultados obtenidos bajo informe de Novacero Anexo 1				

Fuente: Autor



Ficha 4.4.31 Ensayo espectrométrico probeta N°12

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>				
<b>Datos Informativos:</b>				
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	01	
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Probeta N° 12		
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	15/01/2014	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		Laboratorio de Control de Calidad NOVACERO		
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>				
<b>Descripción:</b>				
<b>Tipo:</b>	De Chispa			
<b>Operador :</b>	Miguel Lomas			
<b>Máquina:</b>	Espectrómetro de rayos x edx-720			
<b>Canal de Ensayo:</b>	Energy test			
<b>RESULTADO:</b>				
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>				
<b>ANALYTE</b>	<b>RESULT</b>	<b>(STD.DEV.)</b>	<b>PROC. CALC.</b>	<b>LINE</b>
<b>Fe</b>	87.890%	0.066	QUAN-FP	FeKa
<b>Si</b>	2.078%	0.019	QUAN-FP	SiKa
<b>Mn</b>	0.267%	0.005	QUAN-FP	MnKa
<b>Al</b>	0.165%	0.012	QUAN-FP	AlKa
<b>Cu</b>	0.044%	0.002	QUAN-FP	CuKa
<b>C</b>	6.573%	0.000	QUAN-FP	0
Nota: Resultados obtenidos bajo informe de Novacero Anexo 1				

Fuente: Autor

## 4.5 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

**Tabla 4.5 Resultados de hierro fundido nodular de acuerdo a tipo de chatarra usada**

Chatarra	Probeta	Resistencia a Tracción	% Elongación	Dureza HB	Carbono
<b>Recuperación</b>	<b>1</b>	46838,61	8,46		
	<b>2</b>	38294,11	3,94		
	<b>3</b>	48726,35	8,66		
	<b>4</b>	58108,27	6,3	117	4,176
	<b>5</b>	46867	7,87		
<b>Transformación</b>	<b>6</b>	52430,86	11,02		
	<b>7</b>	51550,86	10,63		
	<b>8</b>	64679,87	5,71	132	2,012
	<b>9</b>	44922,49	10,63		
	<b>10</b>	48697,96	7,68		
<b>Reciclada</b>	<b>11</b>	50486,35	8,07		
	<b>12</b>	71819,21	4,53	178	6,573
	<b>13</b>	56348,27	9,06		
	<b>14</b>	49904,41	6,5		
	<b>15</b>	51011,51	12,6		

Fuente: Autor

**Tabla 4.5.1 Datos base para verificación de hipótesis**

Clase	Resistencia a Tracción	%Elongación	Dureza HB
60-40-18	42000	18	149-187
65-45-12	45000	12	170-207
80-55-06	56000	6	187-255
100-70-03	70000	3	217-267
120-70-02	84000	2	240-300

Fuente: Autor

**Tabla 4.5.2 Valores observados y esperados para resistencia a tracción en probetas de hierro nodular**

Resistencia a Tracción	Observados	Esperados
42000-45000	2	3,75
45001-56000	9	3,75
56001-70000	3	3,75
70001-84000	1	3,75
Total	15	15

Fuente: Autor

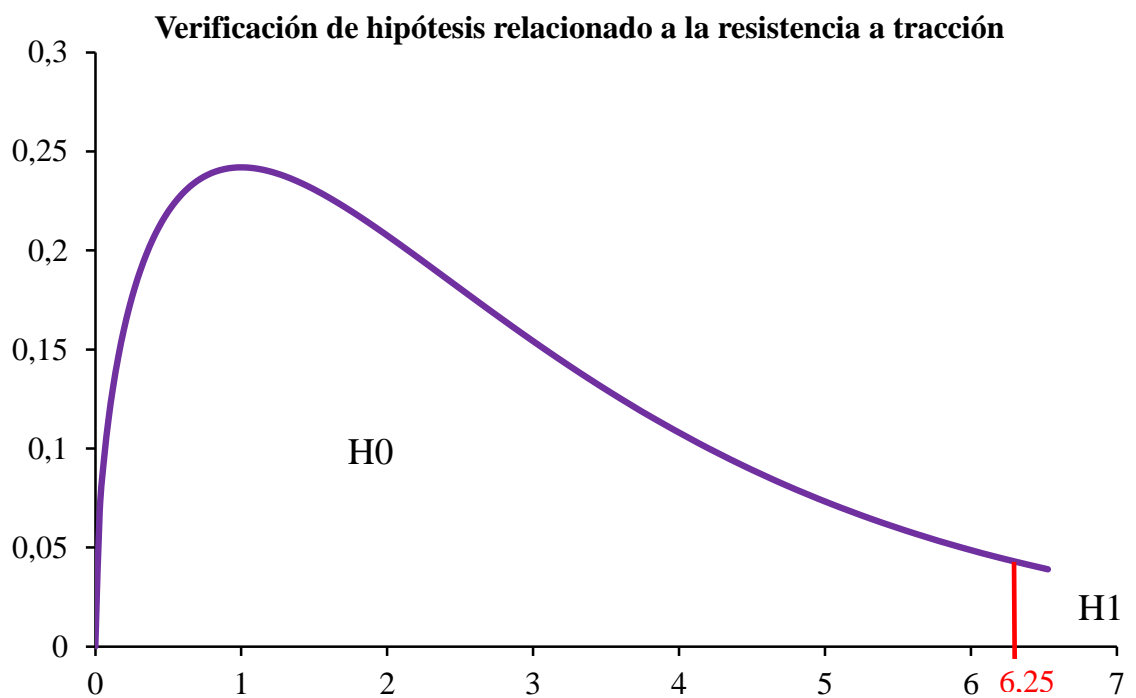
$$x^2 = \frac{(2 - 3,75)^2 + (9 - 3,75)^2 + (3 - 3,75)^2 + (1 - 3,75)^2}{3,75}$$

$$x^2 = 10,33$$

Chi Cuadrado Calculado = 10,33

Chi Cuadrado Tabulado = 6,251

**Grafico 4.5 Verificación de hipótesis relacionado a la resistencia a tracción**



Fuente: Autor

**Tabla 4.5.3 Valores observados y esperados para porcentaje de elongación en probetas de hierro nodular**

%Elongación	Observados	Esperados
18-12	1	3,75
11,9-6	11	3,75
5,9-3	3	3,75
2,9-2	0	3,75
Total	15	15

Fuente: Autor

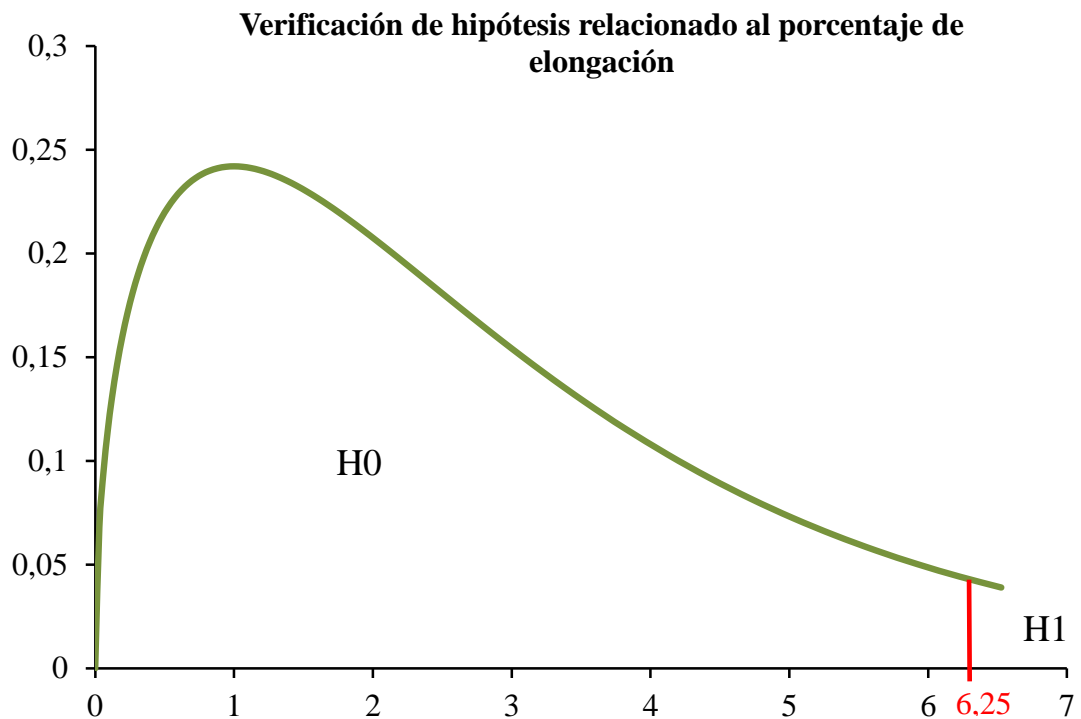
$$x^2 = \frac{(1 - 3,75)^2 + (11 - 3,75)^2 + (3 - 3,75)^2 + (0 - 3,75)^2}{3,75}$$

$$x^2 = 19,93$$

Chi Cuadrado Calculado =19,93

Chi Cuadrado Tabulado = 6,251

**Grafico 4.5.1 Verificación de hipótesis relacionado al porcentaje de elongación**



Fuente: Autor

Mediante la tabla 4.5 podemos observar, los valores a los que se ha llegado respecto a las propiedades mecánicas obtenidos después de haber realizado los ensayos respectivos, se verifica la hipótesis alternativa (H1), planteada de la siguiente manera: El análisis del proceso de obtención del hierro nodular permitirá obtener mejores propiedades mecánicas en fundiciones Lasser de la ciudad de Ambato. Lo planteado en la hipótesis se cumple al haber obtenido valores positivos mediante la prueba de Chi Cuadrado mostrado en las tablas 4.5.2 y 4.5.3, que son datos de suma importancia para el proceso de obtención de hierro fundido nodular, analizando cuál de estas opciones es la más adecuada, así, los datos expuestos del tercer grupo son resultados de mayor eficiencia.

Por lo tanto queda demostrado que la hipótesis alternativa, cumple con las expectativas propuestas donde queda de lado la hipótesis nula (H0), planteada de la siguiente manera: El análisis del proceso de obtención del hierro nodular no permitirá obtener mejores propiedades mecánicas en fundiciones Lasser de la ciudad de Ambato.

Al mejorar este tipo de propiedades en un hierro fundido nodular con variación de chatarras lograremos mejores resultados en usos industriales que se les dé a este producto, ya que al tener un hierro fundido nodular de diferente composición respecto a otros hierros fundidos, se obtiene una reducción de concentración de tensiones, las cuales ayudan a ser más resistente, y menos frágiles. Es así como las esferas promedios que se observan en la microestructura son las causantes de esta mejora.

Con estas aclaraciones el material analizado puede ser utilizado en la industria para varios propósitos ya sea, cigüeñales, rodillos de trabajo, tuercas, chumaceras, manivelas, troqueles, etc., que dará mejor resultado que con otros materiales utilizados.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Después de haber realizado todos los ensayos propuestos en las muestras de hierro nodular, desde su obtención, maquinado, comprobación de material, propiedades mecánicas, se ha llegado a obtener resultados que satisfacen los objetivos establecidos, por lo cual se obtiene las siguientes conclusiones.

- La elaboración del hierro nodular para obtener su microestructura ideal, es efecto de la adición del aleante llamado Ferrosilicio Magnesio, el cual da muchas de las propiedades deseadas, se puede observar en la tabla 2.4.8 de la página 30.
- Los pasos de elaboración del hierro nodular debe seguir un orden lógico para obtener un producto de calidad deseado. El flujograma expuesto en la tabla 4.2.1 de la página 58 muestra la secuencia del proceso de fundición de hierro nodular en fundiciones Lasser.
- La composición química obtenida por medio de las espectrometrías a cada tipo de probeta realizada, cumple con los valores deseados y con datos anteriormente investigados. En la Ficha 4.4.29, 4.4.30, 4.4.31 se muestran los valores de cada probeta analizada.
- Se determinó que el material que cumple con mejores propiedades mecánicas, para un hierro nodular es la chatarra reciclada, que cumple con propiedades de mejor calidad que los otros tipos de estas. Los resultados se encuentran en

la Ficha 4.4.25 de la página 89.

- La microestructura que obtuvo mejores propiedades mecánicas es aquella que está formada por chatarra reciclada con porcentajes de 16.7 % grafito nodular, 39% de perlita y 44.2% de cementita, con un tamaño de grano promedio de 46.438  $\mu\text{m}$ , la resistencia última a tracción con una carga de 6417.9 kg es de 71819.21 Psi, con un porcentaje elongación de 4.53 %, dureza de 178 HB, esta expresada en la tabla 4.4.12, 4.4.18, 4.4.28, 4.4.31 los resultados del hierro fundido nodular respecto al tipo de chatarra usada.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Después de haber realizado todo los ensayos propuestos en las muestras de hierro nodular, desde su obtención, maquinado, comprobación de material, propiedades mecánicas, se ha llegado a obtener resultados que satisfacen los objetivos establecidos, por lo cual se obtiene las siguientes recomendaciones.

- Utilizar el aleante adecuado de Ferrosilicio Magnesio, el cual va a proporcionar una microestructura de mejor calidad y con propiedades mecánicas mucho mejores.
- Tener en cuenta los pasos secuenciales de una fundición nodular, así en el momento de colado y al retirar la escoria para cumplir con parámetros establecidos.
- Controlar el tipo de chatarra a ser fundida y el estado de la misma, libre de contaminantes, para obtener buenos resultados.
- Selección adecuada de tipos de arena y materia prima, al momento de la fundición para mayor calidad de fundición.
- Evitar al máximo al momento de verter en el molde el metal fundido, que se genere porosidades, los cuales van a influir en propiedades mecánicas.

- El momento de realizar el ensayo a tracción de probetas de hierro fundido nodular, tener en cuenta la tensión de mandriles con relación a la probeta, para que la carga que será dada sea bien distribuida a lo largo del espécimen.
- La plasticidad de un hierro fundido nodular no maneja elongaciones con rangos amplios por lo que lo que no se deforma de una manera visible y su ruptura es inesperada.
- Estar pendiente en el ensayo de tracción, las medidas generadas por el deformímetro, debido que cuando se acerca cada vez más al punto de ruptura este empieza a girar con mayor velocidad y es complicado la observación de elongación y la de carga aplicada.
- Estar pendiente en el ensayo de tracción, la actividad del deformímetro por lo que es de sumo cuidado y muy frágil, ya que se puede golpear durante la realización del ensayo, obteniendo datos erróneos que dificultaría el análisis de resultados que este conlleva.
- El ensayo de tracción se debe realizar mediante la norma ASTM E 8-04, la cual nos muestra las medidas normalizadas de cada tipo de probeta, de acuerdo al tamaño del espécimen requerido, y la funcionalidad que se le va a dar a este.
- El maquinado de las probetas siguiendo la norma ASTM E 8-04 debe ser lo más preciso posible, ayudando a obtener una probeta que produzca datos lo más reales posibles.
- Las probetas utilizadas en el ensayo metalográfico se lo debe realizar mediante norma ASTM E-3, tomando en cuenta el giro de 90 grados para cada intervalo de lija, una vez lijado es recomendable ir al banco de pulido el cual va ayudar a retirar las pequeñas ralladuras que posee la probeta por medio de la alúmina que se le adiciona, y trabajar perpendicularmente el sentido de las ralladuras de probeta con respecto al giro del paño de pulido.
- El poder de oxidación que se produce en el hierro nodular es muy rápido por



lo que se recomienda ocupar el ventilador el cual va a secar de manera rápida la zona donde va a ser atacado o la zona pulida, esta zona pulida podrá ser observable en el microscopio antes de realizar el ataque.

- El ataque químico para analizar la microestructura, el porcentaje de aleantes y el tipo de matriz que posea, se lo realizara con Nital 2 para aceros de medio y alto contenido de carbón y fundiciones, el cual va a revelar con claridad su microestructura sin olvidar el sobre paso de tiempo de ataque ya que este quemaría la zona pulida, el tiempo de ataque consta de 10 segundo aproximadamente.
- El ensayo de dureza se lo debe realizar sobre una zona totalmente lisa, mediante cualquier escala de medición, ya que a futuro el investigador podrá transformar mediante la tabla de escalas el valor a ser requerido. Sin olvidar el tipo de indentador y la carga aplicada a la pieza a ser analizada.
- El ensayo de espectrometría de chispa se debe realizar con maquinaria calibrada y con probetas de preparación adecuada, la cual no se realizó en la Universidad Técnica de Ambato debido a la ausencia de este equipo en los laboratorios de Ingeniería Mecánica.
- Tanto los ensayos de tracción y ensayos de metalografía deberán ser supervisados por los ayudantes responsables de cada área, de esta manera se tomaran medidas de seguridad en cuidado y manejo de instrumentos del laboratorio.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

Luego de haber realizado el análisis del proceso de obtención del hierro nodular y su incidencia en las propiedades mecánicas en fundiciones Lasser de la ciudad de Ambato, presenta mejores resultados aquellos que contempla el grupo tres siendo así la probeta con mayor porcentaje de carbono.

Dentro del campo de la Ingeniería de Materiales, este estudio es de gran importancia, ya que se llega a determinar resultados requeridos mediante las normas ASTM E 3, E 7, E 8-04, E 10, etc., logrando evaluar de manera correcta la obtención y propiedades de hierro nodular para realizar estudios posteriores con bases ya obtenidas anteriormente con nueva materia prima, y tipos de aleantes.

Los ensayos de tracción al igual que el de metalografía se realizaron en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato provincia de Tungurahua, los ensayos de dureza y de espectrometría se realizaron en la empresa Novacero en la provincia de Cotopaxi sector Lasso.

#### **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

El análisis del hierro nodular a nivel mundial ha producido un avance en la industria, por lo que se ha venido fomentando soluciones que busque obtener resultados apropiados, mejorando diferentes propiedades mecánicas día tras día, un material como el hierro nodular no basta con cumplir con la resistencia a tracción ni otras propiedades si no tratar a lo mayor posible tener un material que reúna todas las propiedades mecánicas con los resultados mejores.

### 6.3 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación acerca del análisis del proceso de obtención del hierro nodular y su incidencia en las propiedades mecánicas en Fundiciones Lasser de la ciudad de Ambato. Se lo realizó con el propósito de brindar información útil que servirá para futuras investigaciones, pues al realizar los ensayos para analizar sus propiedades mecánicas se consiguió mejorar en la mayoría la resistencia última a tracción, dureza, etc., que están relacionadas con el tipo de materia prima utilizada, de esta manera ayudará este producto dentro de la industria.

El hierro fundido nodular tiene la capacidad de amortiguación, al igual que otras similares fundiciones ya que ayuda a absorber vibraciones y a la vez absorbe energía que en casos industriales puede ser un factor muy necesario, dicha razón es que los componentes de vehículos, maquinaria industrial, en la mayoría de sus partes que las conformas se encuentra formado por tipo de fundición.

El hierro fundido nodular, su maquinabilidad es muy sencilla, debido a que tiene en su composición estructural, carbono libre (grafito), que a su vez sirve de lubricante, su soldabilidad no es nada fácil y esto se debe que en su composición esta fundición posee un porcentaje de carbono mucho mayor que un acero común, para lograr este tipo de soldadura se debe analizar su temperatura de calentamiento.

Al realizar los ensayos propuestos en este tipo de hierro fundido nodular brinda una gama amplia de aplicaciones industriales tales como cigüeñales, rodillos de trabajo, tuercas, chumaceras, manivelas, troqueles, etc.

El análisis de esta investigación se realizó con la todas las facilidades en cuanto a equipos y laboratorios que dispone la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de Universidad Técnica de Ambato ya que si se realizara los ensayos fuera de la institución los costos serían muy elevados.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 Objetivo general**

- Realizar el proceso de obtención y caracterización del hierro nodular mediante chatarra reciclada usando aleación Ferrosilicio Magnesio.

### **6.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el proceso de obtención de hierro nodular mediante chatarra reciclada
- Realizar el análisis a tracción de la fundición nodular elaborada con chatarra reciclada, observando su elongación y resistencia ultima a tracción.
- Efectuar el análisis metalográfico de la fundición nodular elaborada con chatarra reciclada, basándose en los cambios microestructurales.
- Comprobar los datos de dureza y espectrometría de la fundición nodular elaborada con chatarra reciclada.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

La presente investigación se pudo llevar a cabo gracias a la facilidad de laboratorios otorgados por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, como la máquina universal la cual se realizó el ensayo a tracción de cada tipo de fundiciones, el análisis metalográfico con ayuda del ayudante del laboratorio que facilita el análisis, la ayuda de la Empresa Novacero la cual mediante su equipamiento de laboratorios se realizó el ensayo de dureza y el espectrométrico, por estas razones fue muy factible realizar la investigación propuesta.

### **6.5.1 Análisis económico**

Con el propósito de ofrecer una información completa sobre el análisis del proceso de obtención del hierro nodular se debe realizar el análisis económico del trabajo de investigación, donde se evaluará los costos directos e indirectos generados por el proyecto, este costo directo influirá directamente en el desarrollo

de la investigación, y los costos indirectos serán aquellos que de una u otra forma afectan en cierta parte cambios en la economía de un proyecto que se está ejecutando.

### 6.5.1.1 Costos directos

**Tabla 6.5.1.1 Costos directos**

<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>ASPECTO, MATERIAL, ELEMENTO</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Adquisición del material	Transporte	35.00
	Hierro Fundido Nodular	168.00
Maquinado del material	Torneado de probetas	150.00
	Rectificado de muestras para ensayo	6.00
Ensayo a tracción	Máquina universal	0.00
	Deformímetro	95.00
Ensayo metalográfico	Lijas 240,320,400,600 granos/pulg <sup>2</sup>	7.80
	Paño de pulido	9.00
	Alúmina	25.00
	Reactivo Nital 2	17.00
Ensayo de dureza	Ensayo Brinell	75.00
Ensayo espectrométrico	Espectrometría por chispa	150.00
Evaluación	Presentación de reporte	170.20
	Subtotal	908.00
	10 % imprevistos	90.80
	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>998.80</b>

Fuente: Autor

### 6.5.1.2 Costos indirectos

Dentro de los costos indirectos está considerado aspectos como equipo de computación, insumos para recolección de información, herramientas adicionales, copias, etc... que en el transcurso de la investigación facilitaron los ensayos que cumplirá con el trabajo de investigación.

### **6.5.2 Análisis tecnológico**



Para el análisis del proceso de hierro fundido nodular y su incidencia en propiedades mecánicas se ha visto en la obligación de usar tecnología de punta, adecuada, debido que para los ensayos realizados como el Análisis Metalográfico, se ha usado, bancos de lijas, pulidora de paño, sistema de microscopio metalográfico y computadora. Durómetro para el ensayo de dureza, máquina universal para el ensayo de tracción, y espectrometría, la máquina espectrómetro de rayos x edx-720, todos estos equipos deben estar calibrados para obtener resultados confiables.

### **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

Mediante toda la teoría usada en el Capítulo IV para realizar los ensayos correspondientes se pudo llegar a plantear la propuesta la cual nos permitió obtener conclusiones y recomendaciones que servirán de ayuda en futuras investigaciones, tales como el tipo de chatarra a ser usada, la resistencia ultima a tracción, el tamaño de grano, la dureza de cada fundición usada en todo el trabajo.

### **6.7 METODOLOGÍA**

Para el estudio se requiere seguir una secuencia de pasos necesarios para obtener productos de buena calidad por lo que se ha propuesto seguir con los procedimientos, los cuales se los ha enlistado de la siguiente manera:

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>	

**6.7.1 Procedimiento para realizar la obtención del hierro nodular mediante el uso de chatarra reciclada.**

**1. OBJETO:** Establecer las distintas acciones que se debe realizar para seguir el procedimiento de obtención del hierro nodular.

**2. ALCANCE:** Este procedimiento está elaborado para obtener hierro fundido nodular por medio de chatarra reciclada en un horno de inducción.

**3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:** El desarrollo de este proceso se efectuará tomando en cuenta el orden lógico del manual la fundidora Lasser de la ciudad de Ambato

**4. GENERALIZACIÓN:**

El mundo actual requiere y necesita nuevas innovaciones en tecnología a nivel de la ingeniería, en la que se busca mejorar la calidad del hierro fundido nodular mediante la chatarra reciclada, comparada con chatarra de transformación y la de recuperación, la cual mejorará propiedades mecánicas del elemento para diferentes usos industriales.

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>

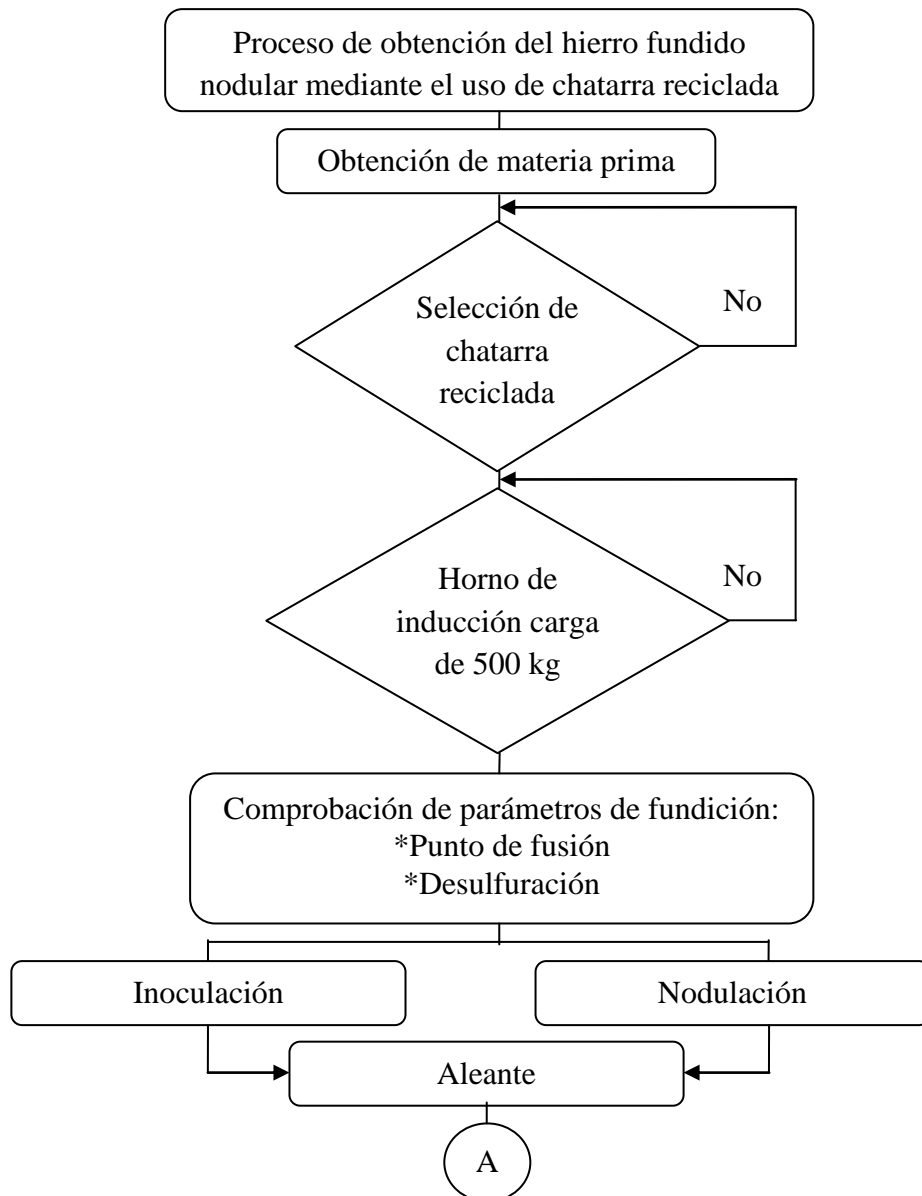
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN**

Pág.

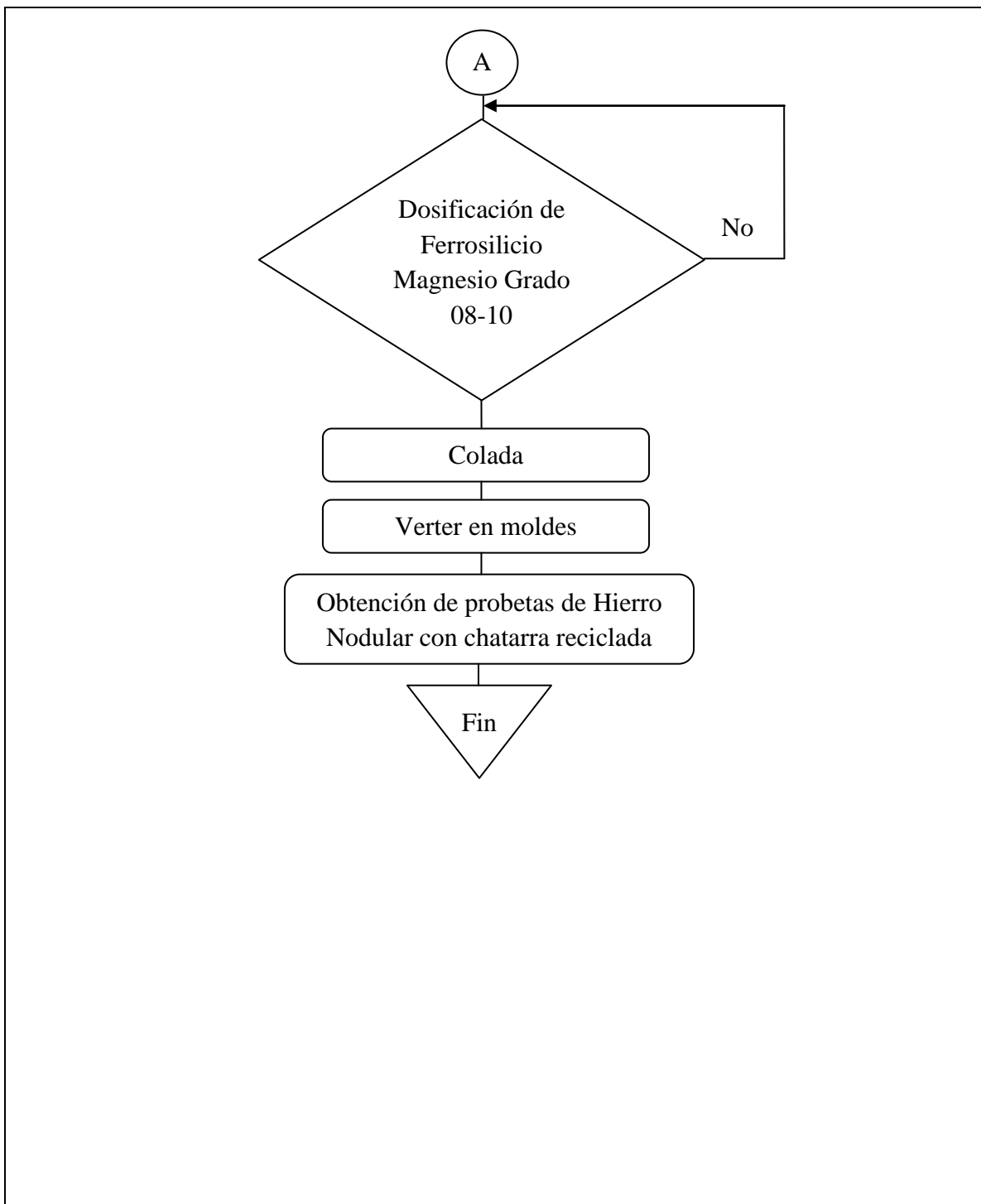


PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA  
OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE  
EL USO DE CHATARRA RECICLADA

6.7.1.1 Diagrama del procedimiento para realizar la obtención del hierro nodular mediante el uso de chatarra reciclada.









<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN**

**Pág.**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA</b> <b>OBTENCIÓN DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE</b> <b>EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>		

## **6.7.2 Procedimiento para realizar la obtención del hierro nodular mediante el uso de chatarra reciclada.**

### **6.7.2.1 Material**

El material a ser usado fue la chatarra reciclada que se obtuvo de las diferentes empresas de la ciudad, con el objetivo de mantener una materia de buena calidad sin óxido y de acero limpio.



**Gráfico 6.7.2.1** Materia prima para el proceso  
**Fuente:** Autor

### **6.7.2.2 Selección de materia prima**

Este paso es muy importante ya que de este depende la pureza de la fundición para obtener un producto que cumpla con las condiciones mecánicas deseadas, procurando que sea la mayor cantidad de material puro



**Gráfico 6.7.2.2** Recolección de materia prima

Fuente: Autor

### **6.7.2.3 Horno**

El Horno a utilizar para dicha fundiciones nodulares es un horno de inducción de media frecuencia que eleva la temperatura hasta los 1800°C de marca SEE-MEAN D de 300 Kva potencia de recuperación a 440 v con capacidad de 500 kg/h.



**Gráfico 6.7.2.3** Selección de materia prima

Fuente: Autor

### **6.7.2.4 Punto de fusión**

Temperatura a la que debe llegar el hierro fundido para convertirse en la fase líquida, aproximadamente la temperatura oscila 1536 °C



**Gráfico 6.7.2.4 Metal fundido**

**Fuente:** Autor

#### **6.7.2.5 Desulfuración**

El material de carga contenga la menor cantidad posible de Azufre, ya que el Magnesio tiene gran afinidad no solamente con el oxígeno, sino también con el Azufre y, por lo tanto al combinarse con éste último, no se dispondrá de Magnesio necesario para la desoxidación del hierro colado y eventualmente para otros fines. Se añadió el 0.2 % de Slax de Foseco, de la carga de chatarra ingresada en horno, que funciona como escoriante.

#### **6.7.2.6 Inoculación**

Se añade una vez que el material este en fase líquida en el momento de colar, usando aleaciones gratificantes y desoxidantes como es el ferro-silicio. Se añadió el 0.3 % de la carga de chatarra ingresada en horno.

#### **6.7.2.7 Nodulación**

La nodulación se lo realiza simultáneamente con la inoculación logrando grafito esferoidal mediante la adición de pequeñas cantidades de Magnesio, esta inclusión se verifica antes de colar el metal. Se añadió el 0.3 % de la carga de chatarra ingresada en horno, la cual se lo coloca en el fondo de la cuchara, reaccionando al momento que se vierte sobre ella el material fundido.

### **6.7.2.8 Ferrosilicio- Magnesio**

Conocido comúnmente con el nombre de liga la cual cumple la función de inocular y nodulizar nuestra fundición, existiendo así diferentes tipos de liga de diferentes clases, usando la más adecuada que es Ferrosilicio Magnesio de grado 08-10. Se añadió el 0.3 % de la carga de chatarra ingresada en horno.



**Gráfico 6.7.2.8 Ferrosilicio -Magnesio**  
**Fuente:** Autor

### **6.7.2.9 Colada**

Es el material fundido listo para ser colocado, el cual se obtiene en una hora a 300 Kva con 500 kg de chatarra en los diferentes estilos de moldes, y obtener el producto deseado.



**Gráfico 6.7.2.9 Metal fundido listo para verter**  
**Fuente:** Autor

### 6.7.2.10 Verter en moldes

Antes de ser vertido la colada en los diferentes tipos de moldes hay que tomar en cuenta algunos parámetros de preparación del molde como: mezcla de arena con los componentes adecuados, humedad de la arena el 3%, canales de colado en moldes libres de obstrucciones.



**Gráfico 6.7.2.10** Colado de metal

Fuente: Autor

### 6.7.2.11 Arena

El tipo de Arena usada es una Arena Sílica malla 80 la cual va a ser mezclada con 0,05 % de bentonita proporcionalmente. Se utilizó el 100 % de arena con respecto a la carga de chatarra ingresada en horno.



**Gráfico 6.7.2.11** Arena Sílice malla 80

Fuente: Autor

### **6.7.2.12 Moldes**

Las cajas de moldeo para las fundiciones son efectuadas con acero y de formas rectangulares (600 x 1000 mm) y en otros casos cuadrados (600 x600 mm) según sea el requerimiento y la necesidad de las piezas a ser fundidas.

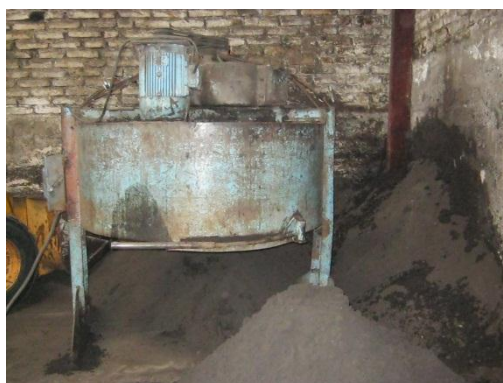


**Gráfico 6.7.2.12** Caja de acero

**Fuente:** Autor

### **6.7.2.13 Mezclador**

El mezclador es el medio por el cual nos permite realizar la mezcla de la arena y bentonita de una manera más rápida en un tiempo aproximado de 15 minutos.



**Gráfico 6.7.2.13** Mezclador de arena

**Fuente:** Autor

#### 6.7.2.14 Obtención de probetas de hierro nodular con chatarra reciclada

Una vez realizado los pasos secuenciales para obtener un hierro fundido nodular se obtiene el material deseado como se muestra en la figura, con dimensiones expresadas en la ficha 4.4:





**Gráfico 6.7.2.14 Eje de hierro nodular**

**Fuente:** Autor

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN</i>			<b>Pág.</b>



	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA</b> <b>CARACTERIZACIÓN DEL HIERRO NODULAR</b> <b>MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>	

**6.7.3 Procedimiento para realizar la caracterización del hierro nodular mediante el uso de chatarra reciclada.**

**1. OBJETO:** Establecer las distintas acciones que se debe realizar para la respectiva caracterización del hierro nodular.

**2. ALCANCE:** Este procedimiento está elaborado para obtener el mejor resultado de las probetas de hierro fundido nodular por medio de chatarra reciclada.

**3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:** El desarrollo de este proceso se efectuará tomando en cuenta las diferentes normas ASTM para la caracterización.

**4. GENERALIZACIÓN:**

El mundo actual requiere y necesita nuevas innovaciones en tecnología a nivel de la ingeniería, en la que se busca mejorar la calidad del hierro fundido nodular mediante la chatarra reciclada, comparada con chatarra de transformación y la de recuperación, la cual mejorará propiedades mecánicas del elemento para diferentes usos industriales.

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN**

Pág.
------

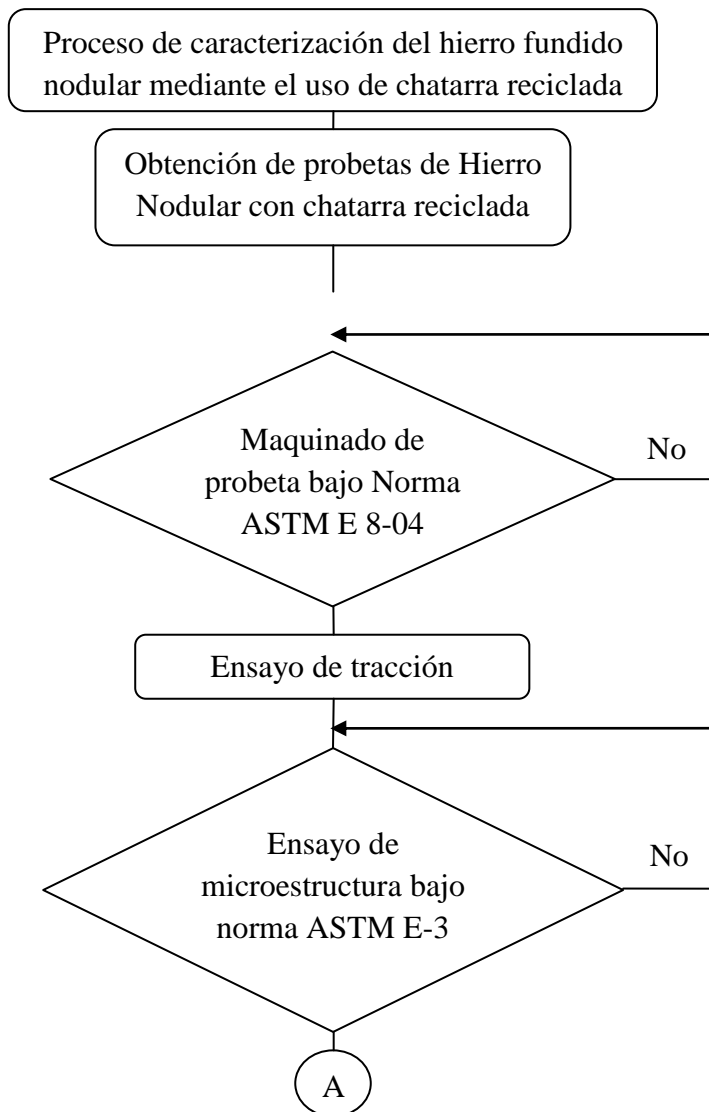


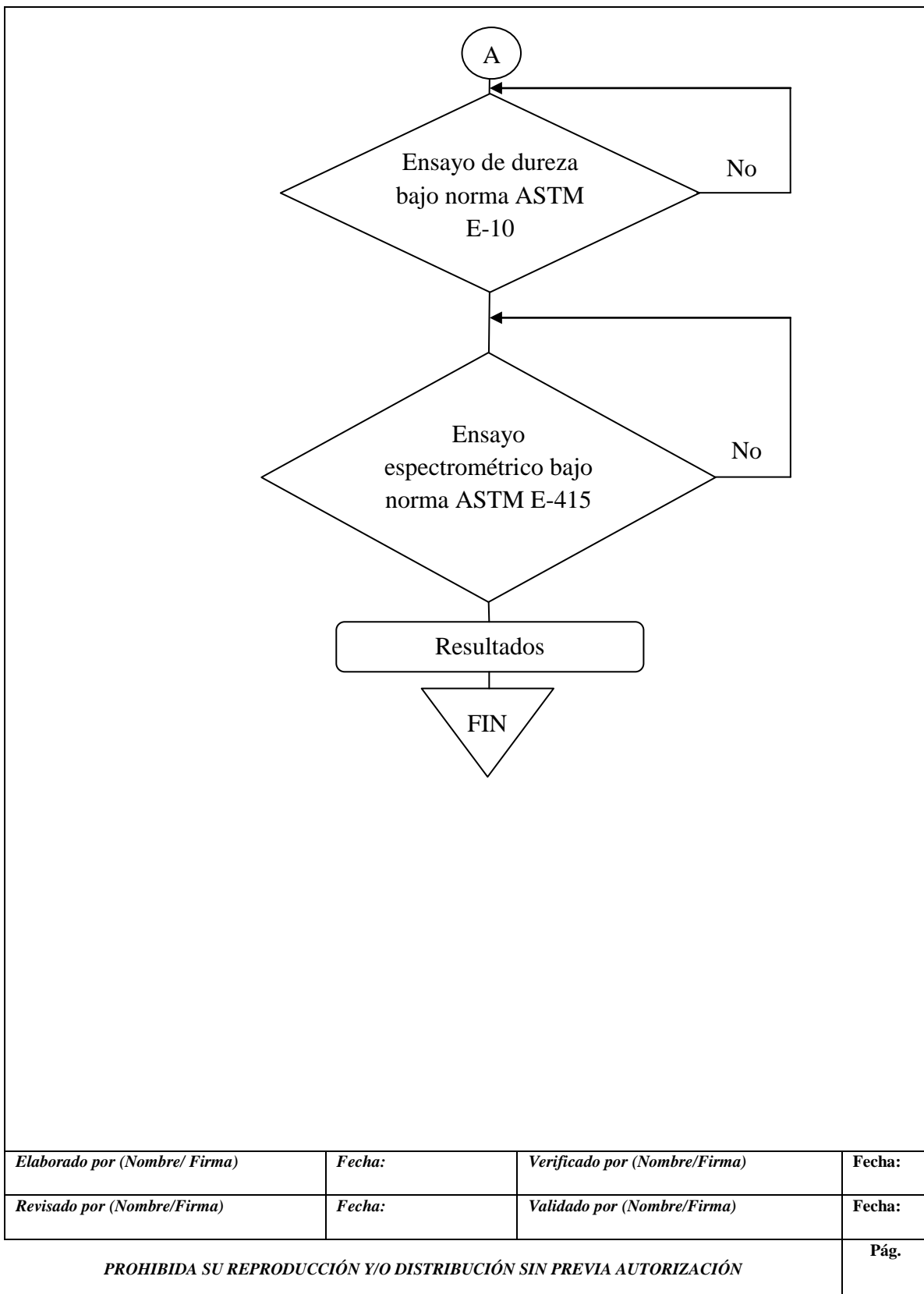
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA  
CARACTERIZACIÓN DEL HIERRO NODULAR  
MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA

**6.7.3.1 Diagrama del procedimiento para realizar la caracterización del hierro nodular mediante el uso de chatarra reciclada.**







<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN**

**Pág.**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO</b> <b>DE TRACCIÓN DEL HIERRO NODULAR</b> <b>MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>	

**6.7.4 Procedimiento para realizar el ensayo de tracción del hierro nodular mediante el uso de chatarra reciclada.**

**1. OBJETO:** Establecer las distintas acciones que se debe realizar para seguir el procedimiento del ensayo de tracción del hierro nodular.

**2. ALCANCE:** Este procedimiento está elaborado para obtener el mejor resultado de las probetas de hierro fundido nodular por medio de chatarra reciclada.

**3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:** El desarrollo de este proceso se efectuará tomando en cuenta la norma ASTM E 8-04.

**4. GENERALIZACIÓN:**

El mundo actual requiere y necesita nuevas innovaciones en tecnología a nivel de la ingeniería, en la que se busca mejorar la calidad del hierro fundido nodular mediante la chatarra reciclada, comparada con chatarra de transformación y la de recuperación, la cual mejorará propiedades mecánicas del elemento para diferentes usos industriales.

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN**

Pág.



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



**PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO  
DE TRACCIÓN DEL HIERRO NODULAR  
MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA**

#### **6.7.4.1 Búsqueda del material adquisición del material.**

Después de haber realizado una búsqueda en las diferentes fundidoras de la ciudad de Ambato para fundiciones nodulares, se ha tomado en cuenta la Fundidora Lasser ubicada en la avenida Indoamérica cerca del ex redondel de Izamba.

Este material se está usando en múltiples trabajos por sus propiedades mecánicas y por la capacidad que posee de absorber vibraciones



**Gráfico 6.7.4.1 Ejes de hierro nodular salido del molde**

Fuente: autor

#### 6.7.4.2 Maquinado de las probetas (torneado).

Para ejecutar el ensayo a tracción se lo realizo mediante la norma ASTM E 8-04 la cual nos da las medidas normalizadas de probetas de diferentes grupos con dimensiones para cada una de ellas, se utilizó el espécimen 1 ya que acopla este muy bien con la máquina universal de los laboratorios de la carrera de Ingeniería Civil.

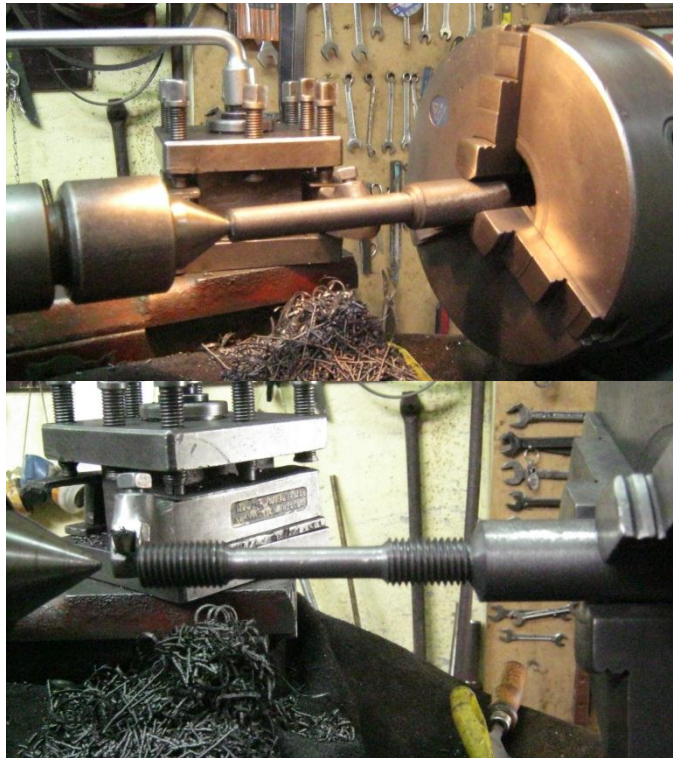


Gráfico 6.7.4.2 Maquinado ejes de hierro nodular

Fuente: Autor

### **6.7.4.3 Corte de las probetas**

Según la norma ASTM E 8-04 las dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción son:



Gráfico 6.7.4.3 Probeta de hierro nodular

Fuente: Autor

### **6.7.5 Ensayo a tracción**

El ensayo de tracción se lo va a realizar en la máquina universal del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, mediante la colaboración del ayudante de laboratorio, una vez que se tenga lista las probetas, esta se deben marcar en la zona de calibración de 2 pulgadas en la cual se debe producir la ruptura, para que el ensayo sea exitoso una vez realizado este proceso se procede a instalar los cabezales en la máquina universal para insertar la probeta a ensayar, culminada esta parte se ubica el deformímetro el cual debe estar calibrado en las dos pulgadas antes mencionadas, con cuidado de averiar el deformímetro, es de gran utilidad sujetarlo antes, durante y después de cada ensayo. Se debe esperar con calma mientras se aplica la carga y las deformaciones empiezan a fluir hasta su punto de ruptura, mediante estos datos máximos obtenidos se procederá a realizar los cálculos posteriores.

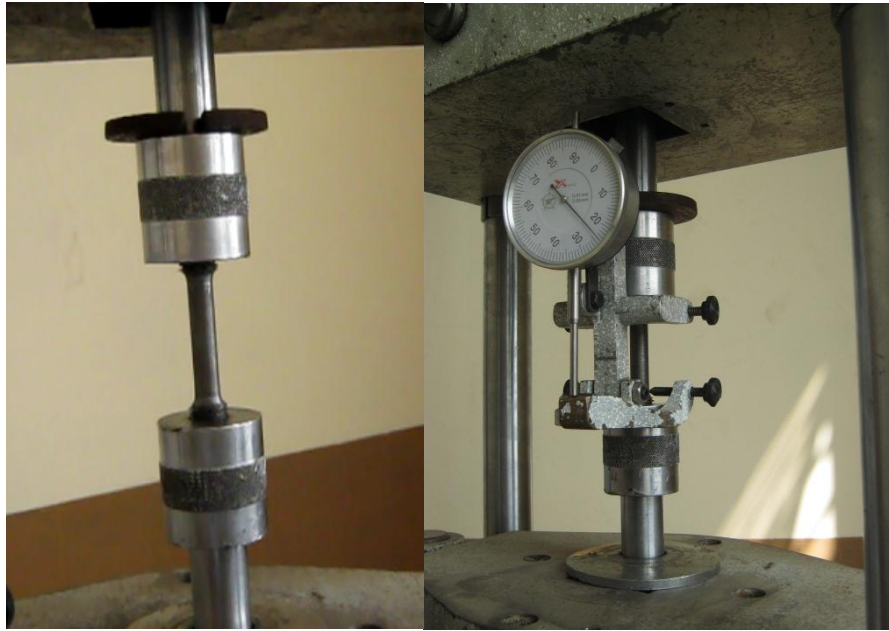


Gráfico 6.7.5 Ensayo a tracción de probetas de hierro nodular  
Fuente: Autor

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<b>PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN</b>			<b>Pág.</b>



Ficha 6.7.5. Resultado ensayo tracción probeta N°12



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



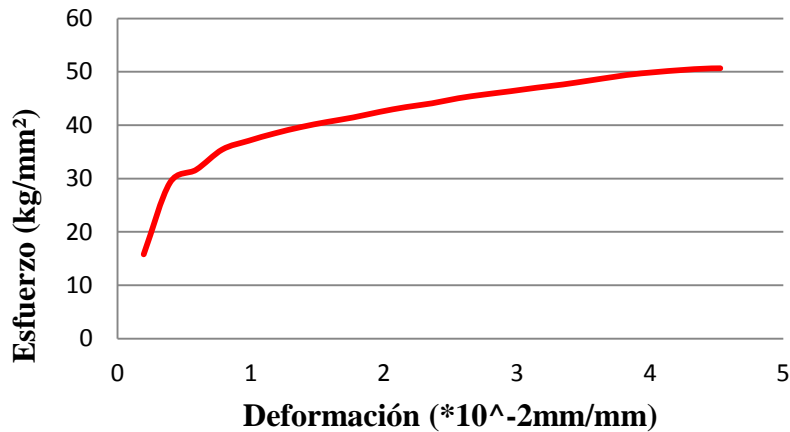
**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: Según norma ASTM E 8-04		Probeta N° 12	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Ensayo de Materiales – FICM	
Instrumento:		Máquina Universal Tinius Oisen capacidad 30 ton	
Fecha de ejecución:	18-12-2013	Supervisado por:	Ayudante de ensayo de Materiales
Método:		Deformación controlada	
Carga Máxima:	6417.9 kg	Carga de Ruptura:	6417.9 kg

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**PROBETA #12**



**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{53.10 - 50.8}{50.8} * 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = 4.53\%$$



**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

$$\% \text{ reducción} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100 \quad \% \text{ reducción} = \frac{126.67 - 124.29}{126.67} * 100 \quad \% \text{ reducción} = 1.87\%$$

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

$$S_{ut} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad S_{ut} = \frac{6417.9 \text{ kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \quad S_{ut} = 50.6 \text{ kg/mm}^2 \quad S_{ut} = 71819.21 \text{ Psi}$$

Nota: Tabla de ejemplo de cómo levantar los datos de Ensayo a Tracción y la ficha en blanco se encuentra en el Anexo 4

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO METALOGRAFICO DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>	

**6.7.6 Procedimiento para realizar el ensayo metalográfico del hierro nodular mediante el uso de chatarra reciclada.**

**1. OBJETO:** Establecer las distintas acciones que se debe realizar para seguir el procedimiento del ensayo metalográfico del hierro nodular.

**2. ALCANCE:** Este procedimiento está elaborado para obtener el mejor resultado de las probetas de hierro fundido nodular por medio de chatarra reciclada



**3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:** El desarrollo de este proceso se efectuará tomando en cuenta la norma ASTM E 3.

**4. GENERALIZACIÓN:**  
 El mundo actual requiere y necesita nuevas innovaciones en tecnología a nivel de la ingeniería, en la que se busca mejorar la calidad del hierro fundido nodular mediante la chatarra reciclada, comparada con chatarra de transformación y la de recuperación, la cual mejorará propiedades mecánicas del elemento para diferentes usos industriales.

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN**

Pág.
------

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO METALOGRAFICO DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>		

### 6.7.6.1 Preparación de la probeta

Con el propósito de manipular de mejor manera las probetas para el análisis metalográfico se maquinaron las probetas de hierro fundido nodular de 3 cm de alto por 3 cm de diámetro a las cuales se les podrá realizar el análisis, y visualizar de mejor manera.



Gráfico 6.7.6.1 Probetas ensayos metalográficos  
Fuente: Autor

### 6.7.6.2 Preparación de la superficie de probeta para análisis metalográfico.

El análisis metalográfico se lo realiza una vez culminado el proceso siguiente:

#### 6.7.6.3 Desbaste grueso

Después de haber realizado la preparación de las probetas, existen rebabas que hay que eliminarlas, estas se consiguen mediante una lima plana que no dañara la superficie para el desbaste fino

#### **6.7.6.4 Desbaste fino**

El desbaste fino es un paso muy importante, mediante el cual se llega a obtener una superficie en su totalidad con ausencia de rayones en la probeta, el proceso del desbaste fino toma mucho tiempo debido a que pasa por una serie de lijas de 240, 320, 400 y 600 granos /pulgada<sup>2</sup>, en cada tipo de lija se realiza el desbaste en una sola dirección y al pasar a otro número de lija se efectúa un giro de 90 grados, así en cada caso, al llegar a la última lija de 600 granos /pulgada<sup>2</sup> no se debe aplicar una fuerza extrema debido a que al momento de pasar al pulido será más demorado su ejecución.



Gráfico 6.7.6.4 Desbaste fino

Fuente: Autor

#### **6.7.6.5 Pulido**

Una vez terminado el proceso de desbaste fino se procede a utilizar la pulidora de paño a una velocidad de 250 rpm, para un pulido mucho más fino se utiliza alúmina (óxido de aluminio) logrando eliminar las rayaduras sobrantes, este material ayuda a pulir rápidamente las superficies de las probetas, es de gran ayuda colocar la dirección de las rayaduras perpendicular a la rotación del paño reduciendo el tiempo de pulido.



Gráfico 6.7.6.5 Pulido

Fuente: Autor



Gráfico 6.7.6.6 Superficie pulida

Fuente: Autor

### 6.7.7 Ataque químico

Una vez que la superficie está libre de rayas se procede al ataque químico con el reactivo Nital 2 que se utiliza para aceros de alto y medio contenido de carbono y fundiciones, en este caso se usó para el hierro fundido nodular, este reactivo se debe aplicar 10 segundos aproximadamente, debido a que si se pasa el tiempo de ataque este toma un color oscuro

que es signo de que se quemó la probeta y toca volver a repetir el pulido, el hierro fundido nodular es un material que se oxida rápidamente por lo que se lo coloca en un ventilador para secar el exceso de agua que se vierte una vez que transcurre el tiempo de ataque, una vez seco se lo lleva al microscopio para observar la microestructura del material.



Gráfico 6.7.7 Ataque químico

Fuente: Autor

### **6.7.8 Evaluación y resultados**

Una vez que la probeta pasó por todos los pasos anteriores se procede a observar en el microscopio su microestructura, gracias a la colaboración del Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Los resultados que se van a obtener mediante los diferentes tipos de lentes, serán mostrados en un sistema de circuito cerrado de televisión, el cual consta de microscopio metalográfico, computador con el software usado, televisor el cual permite visualizar de manera más clara la microestructura del material.

Los resultados se presentan a continuación en los formatos propuestos:



Gráfico 6.7.8 Visualización microscópica de probetas

Fuente: Autor

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<b>PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN</b>			<b>Pág.</b>

Ficha 6.7.6 Resultado ensayo metalográfico probeta N°12



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



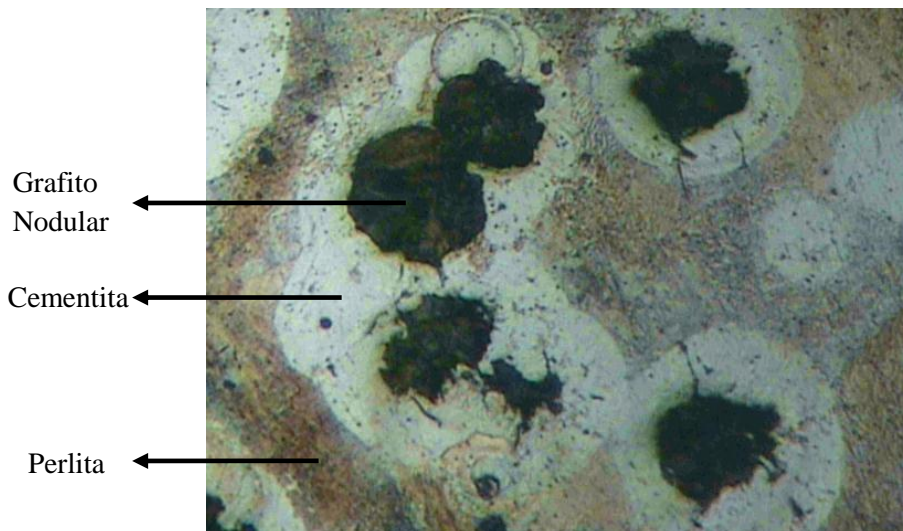
**ENSAYO METALOGRAFICO**

Datos informativos		Parámetros de lugar de ensayo	
Ensayo N°	01 Probeta #12	Lugar	Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico
Tipo de estudio	De Laboratorio	Temperatura ambiente	18 °C
Solicitado por	UTA – FICM		
Supervisado por	Ing. Juan Paredes		
Realizado por	José M. Lascano A		
Fecha	03/01/2014		

**Parámetros de ensayo metalográfico**

Tipo de superficie	Pulido Mecánico Tipo Espejo
Temperatura	28 °C
Ataque químico	Nital 2
Tiempo de preparación de superficie	30 min
Duración de ensayo	30 min

**Resultados: FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL HIERRO FUNDIDO NODULAR (200X)**



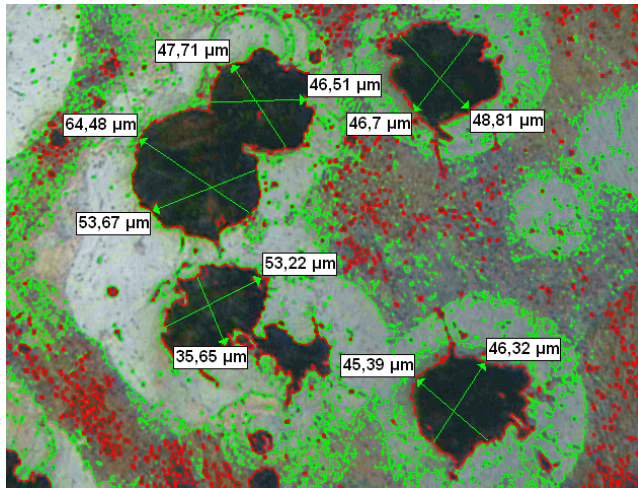
Hierro Fundido Nodular 200X, Nital 2, 10 seg.





**EVALUACION DE MICROESTRUCTURA**

**Microestructura: Hierro Fundido Nodular**



**Determinación de tamaño de grano o laminas del grafito**

**Cálculos:**

**Nódulo Grande**

$$\frac{(64.48 + 53.67)}{2} = 59.075 \mu\text{m}$$

**Nódulo Promedio**

$$\frac{(47.71 + 46.51)}{2} = 47.11 \mu\text{m}$$

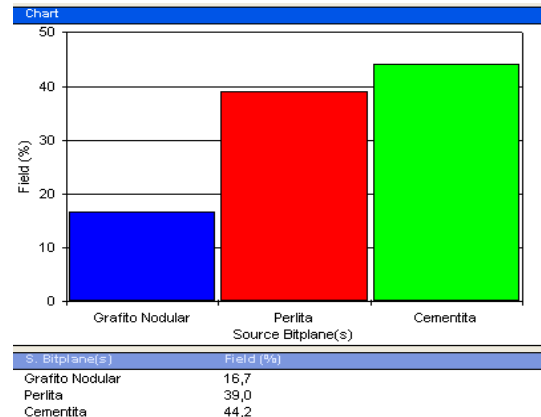
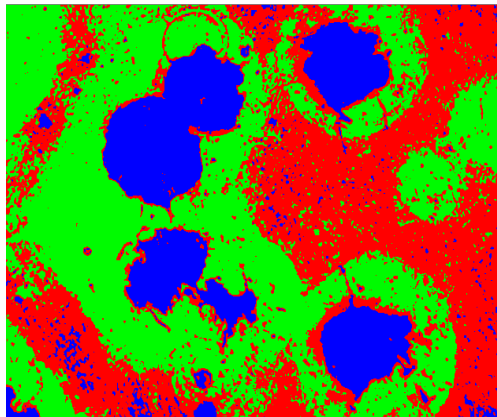
$$\frac{(46.7 + 48.81)}{2} = 47.755 \mu\text{m}$$

$$\frac{(46.32 + 45.39)}{2} = 45.855 \mu\text{m}$$

$$\frac{(53.22 + 35.65)}{2} = 44.435 \mu\text{m}$$

$$(47.71 + 47.755 + 45.855 + 44.435 / 4) = 46.438 \mu\text{m}$$



**Porcentajes de constituyentes**



**Interpretación de resultados**

La microestructura del Hierro Fundido Nodular utilizando software, se llegó a obtener nódulos de grafito de diferentes tamaños, el de mayor tamaño 59.075 μm, el nódulo promedio 46.438 μm. Está constituida de Grafito Nodular, Perlita y Cementita en porcentajes volumétricos de 16.7%, 39% y 44.2 % respectivamente.

Nota: Tabla de ejemplo de como levantar los datos de Ensayo a Tracción y la ficha en blanco se encuentra en el Anexo 5.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE DUREZA DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>	

**6.7.9 Procedimiento para realizar el ensayo de dureza del hierro nodular mediante el uso de chatarra reciclada.**

**1. OBJETO:** Establecer las distintas acciones que se debe realizar para seguir el procedimiento del ensayo de dureza del hierro nodular.

**2. ALCANCE:** Este procedimiento está elaborado para obtener el mejor resultado de las probetas de hierro fundido nodular por medio de chatarra reciclada.

**3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:** El desarrollo de este proceso se efectuará tomando en cuenta la norma ASTM E-10



**4. GENERALIZACIÓN:**

El mundo actual requiere y necesita nuevas innovaciones en tecnología a nivel de la ingeniería, en la que se busca mejorar la calidad del hierro fundido nodular mediante la chatarra reciclada, comparada con chatarra de transformación y la de recuperación, la cual mejorará propiedades mecánicas del elemento para diferentes usos industriales.

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN**

Pág.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE DUREZA DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>	

### 6.7.9.1 Realización del ensayo de dureza.

El ensayo de dureza se lo realiza mediante la escala Brinell para lo cual se utilizó los Laboratorios de la Empresa Novacero ayudando con algunos ensayos, se lo realizó con el propósito de analizar cuál de las probetas seleccionadas obtuvo mayor dureza, y descubrir cuál es la mejor chatarra para obtener dicho resultado, la carga utilizada, al igual que el diámetro de indentador se muestra en el informe enviado por la empresa Novacero. Ver anexo 2.






Gráfico 6.7.9 Probetas realizadas ensayo de dureza

Fuente: Autor



<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
			<b>Pág.</b>

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN**

**Ficha 6.7.7 Resultado ensayo de dureza probeta N°12**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>						
<b>Datos Informativos:</b>						
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b> 01				
<b>Identificación del componente de estudio:</b>	Probeta N° 12					
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b> 15/01/2014				
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>	Laboratorio de Control de Calidad NOVACERO					
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A	<b>Supervisado por:</b> Ing. Juan Paredes				
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>						
<b>Lugar:</b>	Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico					
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20.6°C	<b>Otros:</b>				
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>						
<b>DESCRIPCIÓN:</b>						
<b>Método:</b>	Brinell					
<b>Tipo de penetrador:</b>	Indentador 3mm					
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>	50 PSI	<b>Tiempo de ensayo:</b> 5 min				
<b>RESULTADO:</b>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b>					
<table border="1"> <tr> <th>N°</th> <th>Dureza HB</th> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>178 HB</td> </tr> </table>	N°	Dureza HB	Promedio	178 HB		
N°	Dureza HB					
Promedio	178 HB					
<p>Nota: Resultados obtenidos bajo informe de Novacero Anexo 2</p>						
<p>La dureza promedio es: <b>178 BRINELL (HB)</b></p>						

Nota: Tabla de ejemplo de como levantar los datos de Ensayo a Tracción y la ficha en blanco se encuentra en el Anexo 6

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO ESPECTROMÉTRICO DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>	

**6.7.10 Procedimiento para realizar el ensayo espectrométrico del hierro nodular mediante el uso de chatarra reciclada.**

**1. OBJETO:** Establecer las distintas acciones que se debe realizar para seguir el procedimiento del ensayo espectrométrico y determinar la composición química del hierro nodular obtenido mediante chatarra reciclada.

**2. ALCANCE:** Este procedimiento está elaborado para obtener el mejor resultado de las probetas de hierro fundido nodular por medio de la chatarra reciclada.

**3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:** El desarrollo de este proceso se efectuará tomando en cuenta la norma ASTM E-415.



**4. GENERALIZACIÓN:**

El mundo actual requiere y necesita nuevas innovaciones en tecnología a nivel de la ingeniería, en la que se busca mejorar la calidad del hierro fundido nodular mediante la chatarra reciclada, comparada con chatarra de transformación y la de recuperación, la cual mejorará propiedades mecánicas del elemento para diferentes usos industriales.

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN**

Pág.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO ESPECTROMÉTRICO DEL HIERRO NODULAR MEDIANTE EL USO DE CHATARRA RECICLADA</b>	



### 6.7.10.1 Realización del ensayo espectrométrico.

Existen algunas clases de espectrometría para diferentes materiales, sin embargo en nuestro caso vamos a utilizar una espectrometría de chispa. El ensayo de espectrometría se lo realiza mediante los Laboratorios de la Empresa Novacero, que posee el espectrómetro de rayos x edx-720, canal de ensayo es energy test, que nos ayuda para generar la composición química que posee cada probeta, analizando porcentajes exactos de cada componente.

Ver anexo 1: Resultados de ensayo de Dureza y Espectrometría enviados por Novacero

<i>Elaborado por (Nombre/ Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Verificado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Revisado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Validado por (Nombre/Firma)</i>	<i>Fecha:</i>
<b>PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O DISTRIBUCIÓN SIN PREVIA AUTORIZACIÓN</b>			<b>Pág.</b>

Ficha 6.7.8 Resultado ensayo espectrométrico probeta N°12

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>					
<b>Datos Informativos:</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio		<b>Ensayo N°:</b>	01	
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			Probeta N° 12		
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM		<b>Fecha:</b>	15/01/2014	
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>			Laboratorio de Control de Calidad NOVACERO		
<b>Realizado por:</b>	José M. Lascano A		<b>Supervisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>					
<b>Descripción:</b>					
<b>Tipo:</b>	De Chispa				
<b>Operador :</b>	Miguel Lomas				
<b>Máquina:</b>	Espectrómetro de rayos x edx-720				
<b>Canal de Ensayo:</b>	Energy test				
<b>RESULTADO:</b>					
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>					
<b>ANALYTE</b>	<b>RESULT</b>	<b>(STD.DEV.)</b>	<b>PROC. CALC.</b>	<b>LINE</b>	
<b>Fe</b>	87.890%	0.066	QUAN-FP	FeKa	
<b>Si</b>	2.078%	0.019	QUAN-FP	SiKa	
<b>Mn</b>	0.267%	0.005	QUAN-FP	MnKa	
<b>Al</b>	0.165%	0.012	QUAN-FP	AlKa	
<b>Cu</b>	0.044%	0.002	QUAN-FP	CuKa	
<b>C</b>	6.573%	0.000	QUAN-FP	0	
<p>Nota: Resultados obtenidos bajo informe de Novacero Anexo 1</p>					

Nota: Tabla de ejemplo de como levantar los datos de Ensayo a Tracción y la ficha en blanco se encuentra en el Anexo 7

### 6.7.11 CONCLUSIÓN:

Después de los resultados que se han presentado, respectivos a cada ensayo, se ha comprobado que existe una mejora en las propiedades mecánicas, por lo que la propuesta se concluye así: Se debe realizar el proceso de obtención del hierro nodular mediante chatarra reciclada usando aleación Ferro silicio magnesio.

El orden lógico de realizar los ensayos para esta investigación seguirán este orden: de acuerdo a los diferentes tipos de chatarra utilizada se realiza el ensayo de tracción del cual se descubrió que la probeta número 12 es la más resistente con una carga máxima de 6417.9 y su resistencia ultima a tracción fue 71819.21 PSI, seguidamente el ensayo metalográfico que nos da el tamaño de grano grande 71.04 um, esfera promedio 43.16 y esfera pequeña 27.21 um , porcentaje de 8.4 % de grafito esferoidal y de 91.6 de matriz ferrítica. Dureza de 178 HB, y composición química en Hierro de 87.89% y de Carbono de 6.57%.

### 6.8 ADMINISTRACIÓN

**TABLA 6.8 Costos de realización de tesis**

<b>RECURSOS MATERIALES</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DETALLE</b>	<b>PRECIO UNIDAD (USD)</b>	<b>VALOR (USD)</b>
15	Ejes de hierro fundido nodular	11.20	168
15	Torneado normalizado de probetas	10	150
3	Rectificado de muestras para ensayos	2	6
4	Pliegos de lijas de 240 granos/pulg <sup>2</sup>	0.6	2.40
3	Pliegos de lijas de 320 granos/pulg <sup>2</sup>	0.6	1.80



3	Pliegos de lijas de 400 granos/pulg <sup>2</sup>	0.6	1.80
3	Pliegos de lijas de 600 granos/pulg <sup>2</sup>	0.6	1.80
1	Metro de paño para pulir	9	9
1	Reactivo Nital 2	17	17
0,25	Libra de Alúmina	100	25
		<b>Total 1</b>	382.80

Fuente: Autor

<b>RECURSOS HUMANOS</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DETALLE</b>	<b>PRECIO UNIDAD (USD)</b>	<b>VALOR (USD)</b>
1	Recolección información	25	25
1	Ayudante de ensayos	50	50
3	Ensayo de Dureza	25	75
3	Ensayo Espectrométrico	50	150
		<b>Total 2</b>	300

Fuente: Autor

<b>RECURSOS VARIOS</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DETALLE</b>	<b>PRECIO UNIDAD (USD)</b>	<b>VALOR (USD)</b>
1	Transporte	35	35
1	Deformímetro	95	95
3	Cartucho tinta negra	25	25
2	Cartucho tinta color	28	56
3	Resma de hojas	4.5	13.5

1	Guantes de látex	0.7	0.7
		<b>Total 3</b>	225.20
		<b>SUBTOTAL</b>	908
		<b>10% imprevistos</b>	90.8
		<b>TOTAL</b>	998.80

Fuente: Autor

**Tabla 6.8.1 Costos de ensayos**

Datos Importantes	Hora Laboral / Mes	Costo Mensual	Costo De Hora
<b>Ingeniero</b>	240 H/mes	600 Dólares	2.5 Dólares
<b>Ayudante</b>	240 H/mes	340 Dólares	1.41 Dólares
<b>Energía Eléctrica</b>	360 H/mes	28.8 Dólares	0.08 Dólares

Fuente: Autor

**Tabla 6.8.2 Costo de ensayo de tracción**

Recursos	Ensayo de Tracción	Cantidad	Costo Por Probeta (USD)
<b>Materiales</b>	<b>Deformímetro</b>	1 Hora	9.5
	<b>Ejes de hierro fundido nodular</b>	1 Unidad	11.20
	<b>Torneado normalizado de probetas</b>	1 Unidad	10
	<b>Rectificado de muestras para ensayos</b>	1 Unidad	2
<b>Recurso Humano</b>	<b>Ingeniero</b>	1 Hora	2.5
	<b>Ayudante</b>	1 Hora	1.41
<b>Carga Fabril</b>	<b>Máquina Universal</b>	1 Hora	0.08
<b>Movilización e Insumos</b>	<b>Transporte</b>	-	10
		<b>Total</b>	<b>46.69</b>

Fuente: Autor

**Tabla 6.8.3 Costo de ensayo metalográfico**

<b>Recursos</b>	<b>Microestructura</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Por Probeta (USD)</b>
<b>Materiales</b>	<b>Ejes de hierro fundido nodular</b>	1 Unidad	11.20
	<b>Torneado normalizado de probetas</b>	1 Unidad	10
	<b>Rectificado de muestras para ensayos</b>	1 Unidad	2
	<b>Lijas 240, 320, 400, 600 granos/pulg.</b>	4 Hojas	2.4
	<b>Alúmina</b>	0.25 Libra	5
	<b>Paño De Pulir</b>	1 Metro	9
	<b>Reactivo</b>	250 ml	0.68
	<b>Guantes de Látex</b>	1 Par	0.7
<b>Recurso Humano</b>	<b>Ingeniero</b>	1 Hora	2.5
	<b>Ayudante</b>	1 Hora	1.41
<b>Carga Fabril</b>	<b>Microscopio</b>	0.5 Hora	0.04
	<b>Computador</b>	0.5 Hora	0.04
<b>Movilización e Insumos</b>	<b>Transporte</b>	-	10
	<b>Total</b>		54.97

Fuente: Autor

**Tabla 6.8.4 Costo de ensayo de dureza**

<b>Recursos</b>	<b>Dureza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Por Probeta (USD)</b>
<b>Materiales</b>	<b>Ejes de hierro fundido nodular</b>	1 Unidad	11.20
	<b>Torneado normalizado de probetas</b>	1 Unidad	10
	<b>Rectificado de muestras para ensayos</b>	1 Unidad	2
	<b>Limatón</b>	1 Unidad	5
	<b>Franela</b>	1 Unidad	2
	<b>Lijas 240, 320, 400, 600 granos/pulg.</b>	4 Hojas	2.4
<b>Recurso Humano</b>	<b>Ingeniero</b>	1 Hora	2.5
	<b>Ayudante</b>	1 Hora	1.41
<b>Carga Fabril</b>	<b>Durómetro</b>	-	25
	<b>Teléfono Celular</b>	5 Minutos	0.50
<b>Movilización e Insumos</b>	<b>Transporte</b>	-	15
	<b>Total</b>		77.01

Fuente: Autor

**Tabla 6.8.5 Costo de ensayo espectrométrico**

<b>Recursos</b>	<b>Espectrometría</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Por Probeta (USD)</b>
<b>Materiales</b>	<b>Ejes de hierro fundido nodular</b>	1 Unidad	11.20
	<b>Torneado normalizado de probetas</b>	1 Unidad	10
	<b>Rectificado de muestras para ensayos</b>	1 Unidad	2
	<b>Lijas 240, 320, 400, 600 granos/pulg.</b>	4 Hojas	2.4
<b>Recurso Humano</b>	<b>Ingeniero</b>	1 Hora	2.5
	<b>Ayudante</b>	1 Hora	1.41
<b>Carga Fabril</b>	<b>Espectrómetro</b>	-	50
	<b>Teléfono Celular</b>	5 Minutos	0.50
<b>Movilización e Insumos</b>	<b>Transporte</b>	-	15
		<b>Total</b>	<b>95.01</b>

Fuente: Autor

**Tabla 6.8.6 Costo por kilogramo de fundición nodular**

<b>Costo por Kilogramo de Fundición Nodular</b>				
<b>Recursos</b>	<b>Fundición</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo por kilogramo de fundición (USD)</b>
<b>Materiales</b>	Chatarra	1 Kg	0.40	0.40
	Ferrosilicio-Magnesio	1Kg	5.40	0.016
	Inoculante	1Kg	8	0.024
	Arena	1Quintal	4	0.04
	Bentonita	1Kg	3	0.0015
	Grafito	1Kg	5.50	0.029
	Slax de Foseco	1Kg	4	0.008

<b>Recurso Humano</b>	Ingeniero	1 Persona	2.5	2.5
	Ayudantes	5 Personas	1.41	7.05
<b>Carga Fabril</b>	Horno	1 Hora	0.08	0.08
			<b>Total</b>	<b>10.15</b>

Fuente: Autor

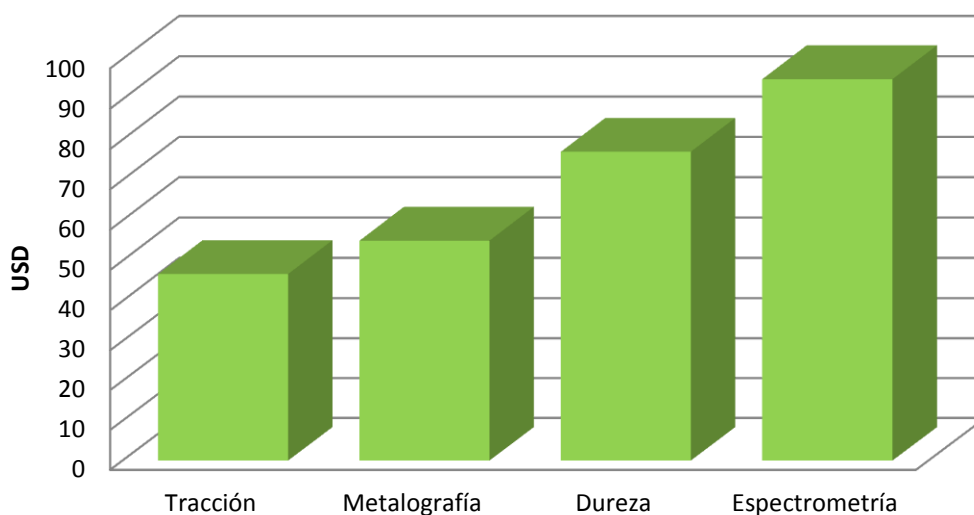
**Tabla 6.8.7 Costo de tipo de ensayos en USD**

<b>Costo de Tipo de Ensayos en USD</b>			
<b>Tracción</b>	<b>Metalografía</b>	<b>Dureza</b>	<b>Espectrometría</b>
46.69	54.97	77.01	95.01

Fuente: Autor

**Grafico 6.8.5 Costo de tipo de ensayos en USD**

### **Costo de tipo de ensayos en USD**



Fuente: Autor

## **6.9 PREVISIÓN DE EVALUACIÓN**

Una vez presentado los resultados obtenidos al haber realizado el análisis del proceso de obtención del hierro nodular y su incidencia en las propiedades

mecánicas en Fundiciones Lasser de la ciudad de Ambato, se ha determinado que al usar una chatarra reciclada o chatarra pura, la cual resulta de despuntes, rechazos, residuos, etc. Mejorará su resistencia última a tracción, tomando en cuenta el aleante más adecuado que resultó ser Ferrosilicio Magnesio, clase 08-10.

Se mejoró la microestructura relacionando a las otras fundiciones, con un tamaño de grano y porcentajes de grafito y ferrita adecuados para este tipo de fundiciones, la dureza aumentó y los porcentajes de carbono y hierro son mucho mejores mediante la espectrometría realizada.

La mayoría de ensayos mecánicos se lo realizó en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, ya que posee equipos suficientes para mostrar los resultados de cada estudio, además se obtuvo la ayuda de la empresa Novacero que ayudó con ensayos mecánicos que complementaron nuestra investigación.

Con el fin de mejorar esta investigación y mejorar los resultados obtenidos en un hierro nodular se recomienda en lo posible utilizar la chatarra reciclada de un mismo tipo de producción y de un lugar fijo, al igual que el uso del aleante (Liga) Ferro silicio magnesio de clase 08-10.

## **6.10 BIBLIOGRAFÍA**

### **6.10.1 LIBROS**

- [1]. Callister, W.D. (1995). *Introducción A La Ciencia E Ingeniería De Los Materiales*
- [2]. Askeland, D.R. (1999), *Ciencia e Ingeniería De Los Materiales*.
- [3]. Smith, W. F. (1999) *Fundamentos De La Ciencia E Ingeniería De Materiales*. Tercera Edición , Editora Concepción Fernández Madrid
- [4]. Kalpakjian, S. & Schemid, S.R. (2008). *Manufactura Ingeniería y tecnología*, quinta edición, Pearson editorial.
- [5]. Norma ASTM E-8. 2013
- [6]. Navidi, W. (2006). *Estadística para Ingenieros y Científicos*. Mc GRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.U

### 6.10.2 TESIS

- [7]. Robalino, M.B. (2011) *Estudio del recocido en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza*. Universidad Técnica de Ambato  
<http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/1330>
- [8]. Atacusi, B. (2013). *Estudio del tratamiento térmico de normalizado en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza y la resistencia*. Universidad Técnica de Ambato  
<http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/4337>
- [9]. Paredes, J. (2012). *Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardachoques para buses*. Universidad Técnica de Ambato  
<http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/2609>
- [10]. Murcia, S.C. (2012). *Trabajo de grado para optar por el título de magister en ingeniería*, Universidad Eafit, Medellín.

### 6.10.3 REVISTAS

- [11]. Instituto para la promoción de armaduras certificadas. Catálogo.

### 6.10.4 ARTÍCULOS

- [12]. Acosta, M. A, Martínez, m. & López, J.A. (2000). *Publicación técnica N° 148*, Sanfandila, Qro
- [13]. Troncoso, J. 2013. *Historia de la fundición*. Universidad Nacional Sede Medellín
- [14]. Jiménez, J. "Sierra Magina"; Mancha Real
- [15]. Díaz Del Castillo, F. *Lecturas De Ingeniería 3 Hierros Fundidos*, Fes-Cuautitlán
- [16]. Coley, J. 2013. *Asesor Técnico Comercial de Insumos Metalúrgicos LTDA*. E-mail: [insumosmetal@une.net.co](mailto:insumosmetal@une.net.co), 2013

### 6.10.5 PÁGINAS WEB

- [17]. (2008, July 30). Ferrosilicio. Editum.org  
<http://www.editum.org/Ferrosilicio-p-1276.html>
- [18]. Snam alloys Pvt.Ltd, Ferrosilicio magnesio, India  
<http://www.snam.co.in/FeSiMg.pdf>
- [19]. Tipos de espectrometría, 2013. Espectrometría.com, Publicado bajo licencia CC BY-SA 3.0  
[http://www.espectrometria.com/tipos\\_de\\_espectrometra](http://www.espectrometria.com/tipos_de_espectrometra)
- [20]. Botero, F. Horno De Inducción: Producción Limpia Y Eficiente  
[http://www.metalactual.com/revista/20/maquinaria\\_hornos.pdf](http://www.metalactual.com/revista/20/maquinaria_hornos.pdf)
- [21]. Bojak, Y. (2010). Fundiciones Nodulares: Adaptación de tecnología en la fabricación *de fundiciones nodulares*  
<http://es.scribd.com/doc/37742061/Fundiciones-nodulares>
- [22]. www. Jenck.com. 2013. Jenck S.A *Instrumental Analítico. Espectrómetros de Fluorescencia de Rayos X por dispersión de energía*  
<http://www.jenck.com/productos/?idProducto=56&idSubtecnica=23#tab=0>
- [23]. Ramiro, C. (2010). *El Ensayo De Tracción*  
<http://es.scribd.com/doc/38489831/EL-ENSAYO-DE-TRACCION>



# ANEXOS

---

# CERTIFICADO

---

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por medio de la presente se informa que los resultados obtenidos en los ensayos de la muestras enviadas por el Sr. José Lascano estudiante de la Universidad Técnica de Ambato fueron realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de la empresa NVACERO S.A. PLANTA LASSO. En la máquina de espectrómetro de rayos X.

El Sr. Interesado puede hacer uso de los resultados responsablemente.

Es los que puedo garantizar.



Atentamente:

Ing. Eduardo Villegas

Mantenimiento Mecánico Reciclaje

NOVACERO S.A.

PLANTA LASSO

☎ 032-998400; 032-719048 Ext. 1319; Cel: 0969078127

✉ [villegase@novacero.com](mailto:villegase@novacero.com)

---

# CERTIFICADO

---

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por medio de la presente se informa que los resultados obtenidos en los ensayos de la muestras enviadas por el Sr. José Lascano estudiante de la Universidad Técnica de Ambato fueron realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de la empresa NOVACERO S.A. PLANTA LASSO. En durómetro marca “MITECH”, en la cual se realizó tres disparos y se obtuvo un valor promedio, el diámetro del puntero es de 3mm, y la carga aplicada es de 50psi.

El Sr. Interesado puede hacer uso de los resultados responsablemente.

Es los que puedo garantizar.



Atentamente:

Ing. Eduardo Villegas

Mantenimiento Mecánico Reciclaje


NOVACERO S.A.

PLANTA LASSO

☎ 032-998400; 032-719048 Ext. 1319; Cel: 0969078127

✉ [villegase@novacero.com](mailto:villegase@novacero.com)

Anexo 3: Resultados de Ensayo de Dureza y Espectrometría enviados por Novacero

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD			
INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICION QUÍMICA DE MUESTRAS					
<b>FECHA:</b>		11/02/2014			
<b>OPERADOR:</b>		Miguel Lomas			
<b>MAQUINA:</b>		ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720			
<b>CANAL DE ENSAYO:</b>		ENERGY TEST			
<b>MUESTRA:</b>		<b>M4</b>	<b>DUREZA:</b>	117HB	
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Fe	93,272%	0,066	QUAN-FP	FeKa	
Si	1,820%	0,018	QUAN-FP	SiKa	
Mn	0,269%	0,006	QUAN-FP	MnKa	
Cr	0,085%	0,003	QUAN-FP	CrKa	
Cu	0,044%	0,003	QUAN-FP	CuKa	
C	4,176%	0,000	QUAN-FP	CKa	
<b>MUESTRA:</b>		<b>M8</b>	<b>DUREZA:</b>	132HB	
<b>RESULTADOS:</b>					
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Fe	95,072%	0,069	QUAN-FP	FeKa	
Si	2,199%	0,022	QUAN-FP	SiKa	
Mn	0,264%	0,005	QUAN-FP	MnKa	
Al	0,177%	0,016	QUAN-FP	AlKa	
Cu	0,043%	0,003	QUAN-FP	CuKa	
S	0,027%	0,002	QUAN-FP	Ska	
C	2,012%	0,00	QUAN-FP	0	
<b>MUESTRA:</b>		<b>M12</b>	<b>DUREZA:</b>	178HB	
<b>RESULTADOS:</b>					
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>					
ANALYTE	RESULT	(STD.DEV.)	PROC. CALC.	LINE	
Fe	87,890%	0,066	QUAN-FP	FeKa	
Si	2,078%	0,019	QUAN-FP	SiKa	
Mn	0,267%	0,005	QUAN-FP	MnKa	
Al	0,165%	0,012	QUAN-FP	AlKa	
Cu	0,044%	0,002	QUAN-FP	CuKa	
C	6,573%	0,000	QUAN-FP	0	

Anexo 4: Formato de Tabla de Ensayo a Tracción en Blanco



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



**PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

<b>DESCRIPCIÓN:</b>			
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>			
<b>Instrumento:</b>			
<b>Fecha de ejecución:</b>		<b>Supervisado por:</b>	
<b>Método:</b>			
<b>Carga Máxima:</b>		<b>Carga de Ruptura:</b>	

**RESULTADO:**

**GRÁFICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN**

**Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%):**



--

**Cálculo del porcentaje de Reducción de Área (%):**

--

**Cálculo de la Resistencia Última a la Tracción :**

--

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>			
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Datos informativos</b>			<b>Parámetros de lugar de ensayo</b>		
<b>Ensayo N°</b>			<b>Lugar</b>		
<b>Tipo de estudio</b>			<b>Temperatura ambiente</b>		
<b>Solicitado por</b>					
<b>Supervisado por</b>					
<b>Realizado por</b>					
<b>Fecha</b>					
<b>Parámetros de ensayo metalográfico</b>					
<b>Tipo de superficie</b>					
<b>Temperatura</b>					
<b>Ataque químico</b>					
<b>Tiempo de preparación de superficie</b>					
<b>Duración de ensayo</b>					
<b>Resultados:</b>					



**EVALUACION DE MICROESTRUCTURA**

**Microestructura:**



**Determinación de tamaño de grano o laminas del grafito**

**Cálculos:**

**Composición:**



**Interpretación de resultados**

Anexo 6: Formato de Tabla de Ensayo de Dureza En Blanco

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>							
<b>Datos Informativos:</b>							
<b>Tipo de estudio:</b>		<b>Ensayo N°:</b>					
<b>Identificación del componente de estudio:</b>							
<b>Solicitado por:</b>		<b>Fecha:</b>					
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>							
<b>Realizado por:</b>		<b>Supervisado por:</b>					
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>							
<b>Lugar:</b>							
<b>Temperatura Ambiente:</b>		<b>Otros:</b>					
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>							
<b>DESCRIPCIÓN:</b>							
<b>Método:</b>							
<b>Tipo de penetrador:</b>							
<b>Cantidad de carga aplicada:</b>		<b>Tiempo de ensayo:</b>					
<b>RESULTADO:</b>		<b>DETALLE REFERENCIAL</b>					
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">N°</td> <td style="width: 100px; text-align: center;">Dureza HRB</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td></td> </tr> </table>				N°	Dureza HRB	Promedio	
N°	Dureza HRB						
Promedio							
La dureza promedio es:							



Anexo 7: Formato de Tabla de Ensayo Espectrométrico en Blanco

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
<b>ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>		
<b>Datos Informativos:</b>		
<b>Tipo de estudio:</b>		<b>Ensayo N°:</b>
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		
<b>Solicitado por:</b>		<b>Fecha:</b>
<b>Centro de Estudio y Análisis:</b>		
<b>Realizado por:</b>		<b>Supervisado por:</b>
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA</b>		
<b>Descripción:</b>		
<b>Tipo:</b>		
<b>Operador :</b>		
<b>Máquina:</b>		
<b>Canal de Ensayo:</b>		
<b>RESULTADO:</b>		



**Designation: E 3 ± 01**  
**Standard Guide for**  
**Preparation of Metallographic Specimens<sup>1</sup>**

This standard is issued under the fixed designation E 3; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

**1. Scope**

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of a light optical or scanning electron microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual specimen preparation problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching, ASM, 1978*; and Vander-Voort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

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

**2. Referenced Documents**

2.1 *ASTM Standards:*

- A 90/A 90M Standard Test Method for Weight (Mass) of Coating on Iron and Steel with Zinc or Zinc-Alloy Coatings
- E 7 Terminology Relating to Metallography<sup>2</sup>
- E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel<sup>2</sup>
- E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys<sup>2</sup>
- E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys<sup>2</sup>
- E 768 Practice for Preparing and Evaluating Specimens for Automatic Inclusion Assessment of Steel<sup>2</sup>

- E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens<sup>2</sup>
- E 1122 Practice for Obtaining JK Inclusion Ratings Using Automatic Image Analysis<sup>2</sup>
- E 1245 Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis<sup>2</sup>
- E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures<sup>2</sup>
- E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens<sup>2</sup>
- E 1920 Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings<sup>2</sup>

**3. Terminology**

3.1 *Definitions:*

3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E 7.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.

3.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.

3.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same plane of polish. It is unique to semi or fully automatic preparation equipment that utilize specimen holders.

3.4 *rigid grinding disc*—a non-fabric support surface, such as a composite of metal/ceramic or metal/polymer charged with an abrasive (usually 6 to 15µm diamond particles), and used as the one grinding operation in a metallographic preparation procedure.

**4. Significance and Use**

4.1 Microstructures have a strong influence on the properties and successful application of metals and alloys. Determination and control of microstructure requires the use of metallographic examination.

4.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other

<sup>1</sup> This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.

Current edition approved April 10, 2001. Published July 2001. Originally published as E 3 ± 21 T. Last previous edition E 3 ± 95.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

4.3 Proper choice of specimen location and orientation will minimize the number of specimens required and simplify their interpretation. It is easy to take too few specimens for study, but it is seldom that too many are studied.

**5. Selection of Metallographic Specimens**

5.1 The selection of test specimens for metallographic examination is extremely important because, if their interpretation is to be of value, the specimens must be representative of the material that is being studied. The intent or purpose of the metallographic examination will usually dictate the location of the specimens to be studied. With respect to purpose of study, metallographic examination may be divided into three classifications:

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

5.1.2 *Study of Failures*—Test specimens should be taken as closely as possible to the fracture or to the initiation of the failure. Before taking the metallographic specimens, study of the fracture surface should be complete, or, at the very least, the fracture surface should be documented. In many cases, specimens should be taken from a sound area for a comparison of structures and properties.

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

3.1 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must be decided.

5.2.1 For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting.

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

5.2.3 In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.

3.2 Transverse sections or cross sections taken perpendicular to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.3.1 Variations in structure from center to surface,

5.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,

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

5.3.4 Depth of surface imperfections, 5.3.5 Depth of corrosion,

5.3.6 Thickness of protective coatings, and 5.3.7 Structure of protective coating.

5.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.4.1 Inclusion content of steel (see Practices E 45, E 768, E 1122, and E 1245),

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

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

5.4.4 The microstructure attained with any heat treatment.

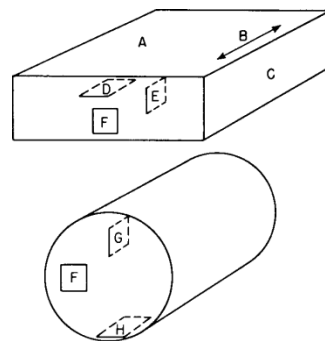
5.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in Fig. 1.

**6. Size of Metallographic Specimens**

6.1 For convenience, specimens to be polished for metallographic examination are generally not more than about 12 to 25 mm (0.5 to 1.0 in.) square, or approximately 12 to 25 mm in diameter if the material is cylindrical. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

6.1.1 Larger specimens are generally more difficult to prepare.

6.1.2 Specimens that are, fragile, oddly shaped or too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Section 9).



Symbol in Diagram

Suggested Designation

- A Rolled surface
- B Direction of rolling
- C Rolled edge
- D Planar section
- E Longitudinal section perpendicular to rolled surface
- F Transverse section
- G Radial longitudinal section
- H Tangential longitudinal section

**FIG. 1 Method of Designating Location of Area Shown in Photomicrograph.**

**7. Cutting of Metallographic Specimens**

7.1 In cutting the metallographic specimen from the main body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

7.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy, fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 350 HV. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

7.1.2 An abrasive cut-off blade will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off blade, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily damage the specimen, producing an alteration of the microstructure. Generally, soft materials are cut with a hard bond blade and hard materials with a soft bond blade. Aluminum oxide abrasive blades are preferred for ferrous metals and silicon carbide blades are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off blades are essential for sectioning metals with hardness above about 350 HV. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting blades. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of blade. Table 1 lists the suggested cutoff blades for materials with various Vickers (HV) hardness values.

7.1.3 A shear is a type of cutting tool with which a material in the form of wire, sheet, plate or rod is cut between two opposing blades.

7.2 Other methods of sectioning are permitted provided they do not alter the microstructure at the plane of polishing. All cutting operations produce some depth of damage, which will have to be removed in subsequent preparation steps.

**8. Cleanliness**

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

8.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before

polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects during etching. The coating can be removed by dissolving in cold nitric acid (HNO<sub>3</sub>, sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO<sub>3</sub> method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized. More information may be found in Test Method A 90/A 90M.

NOTE 2 Picral etchant produces little or no galvanic etching effects when used on galvanized steel.

NOTE 3 The addition of an inhibitor during the stripping of Zn from galvanized coatings will minimize the attack of the steel substrate. NEP (polyethylene polyamine) or SbCl<sub>3</sub> are two useful inhibitors.

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

**9. Mounting of Specimens**

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

Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two.

*Mechanical Mounting:*

9.3.1 Strip and sheet specimens may be mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts.

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

9.3.3 The use of filler sheets of a softer material alternated with the specimen may be used in order to minimize the seepage of polishing materials and etchants. Use of filler material is especially advantageous if the specimens have a high degree of surface irregularities.

9.3.4 Filler material must be chosen so as not to react electrolytically with the specimen during etching. Thin pieces of plastic, lead, or copper are typical materials that are used. Copper is especially good for steel specimens since the usual etchants for steels will not attack the copper.

9.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a layer of epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

9.3.6 The clamp material should be similar in composition to the specimen to avoid galvanic effects that would inhibit etching. The specimen will not etch if the clamp material is more readily attacked by the etchant.

9.3.7 The clamp should preferably be of similar hardness as the specimens to minimize the rounding of the edges of the specimens during grinding and polishing.

9.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimen.

*9.4 Plastic Mounting:*

9.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both

**TABLE 1 Cutoff Blade Selection**

Hardness HV	Materials	Abrasive	Bond	Bond Hardness
up to 300	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	hard
up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	med. hard
up to 400	soft ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R	hard
up to 500	medium soft ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R	med. hard
up to 600	medium hard ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R	medium
up to 700	hard ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R&R	med. soft
up to 800	very hard ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R&R	soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or M	hard
	more brittle ceramics	diamond	P or M	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext. hard

Pϕphenolic Rϕrubber R&Rϕresin and rubber Mϕmetal

manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression and castable.

9.4.2 The choice of a mounting compound will influence the extent of edge rounding observed during the grinding and polishing operations. There are several methods available that minimize rounding. The specimen may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using a castable resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen. The specimen may also be plated before mounting (see Section 10). Many mounting procedures result in sharp edges on the mount corners. The corners should be beveled to remove any plastic mounting flash.

9.4.3 *Compression Mounting*—There are four types of compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory (see Table 2). These plastics require the use of a mounting press providing heat (140-180°C) and force (27-30 MPa). Thermosetting plastics can be ejected hot but the best results are obtained when the cured mount is cooled under pressure. Thermoplastic compounds do not harden until cooled and therefore should not be ejected while hot. Regardless of the resin used, the best results are obtained when (1) the specimen is clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 40°C before ejection from the press. This will ensure minimal shrinkage gap formation.

9.4.4 *Castable Plastics*—Castable mounts are usually prepared at room temperature. Some may require an external heat source or applied pressure in order to cure. These resins consist of two or more components which must be mixed just prior to use. There are four kinds of castable plastics in common use (see Table 3).

9.4.5 The molds for castable plastics are often simple cups that hold the resin until it cures. They may be reusable or not; the choice is a matter of convenience and cost. Handling castable resins requires care. They all can cause dermatitis. Manufacturers' recommendations for mixing and curing must be followed to obtain best results.

9.5 *Mounting Porous Specimen:*

9.5.1 Porous or intricate specimens may be vacuum impregnated in order to fill voids, prevent contamination and seepage, and prevent loss of friable or loose components. Impregnation is accomplished by placing the specimen in a mold in a vacuum chamber and then introducing the resin into the mold after the chamber has been evacuated. The introduction of the resin into the mold can be accomplished either by having a funnel or stopcock fitted to the vacuum chamber or by having a basin of the resin present inside the chamber. A low-viscosity resin will produce the best results. The pressure in the chamber must remain above the critical vapor pressure of the hardener to

avoid boiling away the hardener. After the pressure has equilibrated, the resin is introduced into the mold and the vacuum is released and air admitted to the chamber. Atmospheric pressure will force the resin into the fine pores, cracks, and holes.

If a low-viscosity resin is used, the funnel and stop-cock may be eliminated. The specimen and resin are placed in the mold prior to evacuation. The air in the specimen will bubble out through the resin. Exercise care to ensure the hardening agent is not evaporated during evacuation. Dipping the specimen in the resin prior to placing it in the mold may help in filling voids.

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

A more rapid technique but less effective method is to lacquer the specimens with one of the formulations used by the canning industry to line food containers. The formulations are highly penetrating and the cure is a short time at low temperatures. After lacquering, the specimens are mounted in the usual fashion.

10. **Plating of Specimens**

10.1 Specimens such as fractures or those where it is necessary to examine the edges, are often plated to obtain good edge retention. Plating can be done electrolytically or with electroless solutions. These specimens are invariably mounted prior to the grinding and polishing procedures. Electroless plating solutions can be purchased commercially.

10.2 Thoroughly clean the specimen surface prior to plating to ensure good adhesion of the plating. Avoid industrial cleaning treatments that are too harsh and may cause damage to the specimen surface. Milder cleaning treatments that involve detergents, solvents, mild alkaline, or acidic solutions are recommended.

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

10.3.1 Ferrous metals are commonly plated electrolytically with nickel or copper. A flash coat in a copper or electroless nickel bath can be first applied for specimens that are difficult to electroplate.

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

10.4 The plating material should not react galvanically with the base metal of the specimen during plating, polishing, or etching.

10.5 Electroless plating is preferred to electrolytic plating

TABLE 2 Characteristics of Hot-Compression Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	thermoplastic, cure time 10-15 min, optically clear, moderate shrinkage, low abrasion resistance, degraded by hot etchants
Diallyl phthalate <sup>A</sup>	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, minimal shrinkage, good resistance to etchants, moderate abrasion resistance
Epoxy <sup>A</sup>	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, very low shrinkage, good resistance to etchants, high abrasion resistance
Phenolic <sup>A</sup> (Bakelite)	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, moderate shrinkage, degraded by hot etchants, moderate abrasion resistance

<sup>A</sup> These compounds may be filled with wood flour, glass fiber or mineral particulate.

**TABLE 3 Characteristics of Castable Mounting Compounds**

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	Cure time 8-15 min, moderate shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, low abrasion resistance, opaque to transparent
Polyester-acrylic (quartz-filled)	Cure time 8-15 min, very low shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, high abrasion resistance, opaque
Polyester	Cure time 30-60 min, high shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120 C during polymerization, moderate abrasion resistance, transparent
Epoxy	Cure time 1/2-20 h, very low shrinkage, good adhesion, low heat generation during polymerization, moderate abrasion resistance, low viscosity (good for vacuum impregnation), transparent

for specimens with rough, porous, or irregular surfaces, because the electroless solution provides better surface coverage and penetration. 10.6 Active metals such as zinc and aluminum are difficult to plate. Sometimes a flash cyanide copper plate can be deposited, which then can be followed by normal plating from a sulfate bath. Evaporated coatings of copper, gold, or chromium may also be used as starter coatings.

10.7 It is recommended that the plating thickness be at least 5µm.

**11. Grinding and Polishing**  
**General Information**

11.1 Many metals and alloys can be prepared using a similar sequence of grinding and polishing. Hard alloys may require greater pressure than soft alloys. The major differences will be in the final polishing. Some metals and alloys will require specific combinations of abrasive and support material, but a surprising number can be handled by the same procedure. Supplies and instructions for grinding, lapping, and polishing are readily obtainable from laboratory supply houses.

11.2 Grinding Grinding can be done in a number of ways, ranging from rubbing the specimen on a stationary piece of abrasive paper to the use of automatic devices. The choice of method depends on the number and type of specimens to be done, financial considerations and requirements such as flatness and uniformity.

11.2.1 Abrasive grit size designations in this practice are expressed in the ANSI (American National Standards Institute) or CAMI (Coated Abrasives Manufacturers Institute) system units with the corresponding FEPA (European Federation of Abrasive Producers) numbers in parentheses. Table 4 provides a correlation between these two systems and the approximate median particle diameter for a given size in micrometres.

11.2.2 Grinding should start with the finest paper, platen or stone capable of flattening the specimen and removing the effects of prior operations, such as sectioning. The subsequent steps should remove the effects of previous ones in a short time. Grinding consists of two stages- planar (rough) and fine.

11.2.3 Planar or rough grinding [240 grit (P220) and coarser] may be performed on belts, rotating wheels or stones. In some methods, diamond abrasives are used on rigid platens. Planar grinding may be used to accomplish the following:

- 11.2.3.1 Flatten an irregular or damaged cut surface, 11.2.3.2 Remove sectioning damage, scale and other surface conditions prior to mounting,
- 11.2.3.3 Remove substantial amounts of specimen material to reach a desired plane for polishing,

**TABLE 4 European/USA Grit Grade Comparison Guide**

FEPA		ANSI/CAMI	
Grit Number	Size (µm)	Grit Number	Size (µm)
P120	125.0	120	116.0
P150	100.0	180	78.0
P220	68.0	220	66.0
P240	58.5	...	...
P280	52.2	240	51.8
P320	46.2	...	...
P360	40.5	280	42.3
P400	35.0	320	34.3
P500	30.2	...	...
P600	25.8	360	27.3
P800	21.8	400	22.1
P1000	18.3	500	18.2
P1200	15.3	600	14.5
P1500	12.6	800	11.5
P2000	10.3	1000	9.5
P2500	8.4	1500	8.0
P4000 <sup>A</sup>	5.0	...	...

<sup>A</sup> Not found in the FEPA grading system.  
ANSI American National Standards Institute  
CAMI Coated Abrasives Manufacturers Institute  
FEPA European Federation of Abrasive Producers

11.2.3.4 Level the mount surface.

11.2.4 In fine grinding, damage to the specimen incurred from the planar or rough grinding step must be removed. The specimen is either ground on successively finer abrasive papers (using water to wash away grinding debris and to act as a coolant) or on a rigid disc or cloth charged with a suitable abrasive.

11.2.5 After all grinding is done, the specimen must be cleaned thoroughly. Ultrasonic cleaning in a water/soap solution containing a corrosion inhibitor may prove beneficial.

11.3 Polishing Polishing is usually distinguished from grinding by the use of loose abrasive (#6µm) embedded in an appropriately lubricated supporting surface. The choice of abrasive, lubricant, and polishing surface support is often specific to the metal and the object of the investigation. Polishing can be divided into rough and fine (final) stages.

7.11.2 Rough polishing is often sufficient for routine evaluations like microindentation hardness and grain size.

7.11.3 When fine polishing is required, it may be performed with diamond or an oxide slurry step or both. The choice of final polishing abrasive type and size is dictated by the hardness of the specimen. For instance, a 1µm diamond final polish is often sufficient for many grades of steel, however, softer steels and non-ferrous materials often require an additional polishing step with an oxide slurry or suspension of SiO<sub>2</sub> or Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Final polishing cloths are generally softer and higher in nap than rough polishing cloths. Therefore, polishing time and force must be kept to a minimum to avoid artifacts such as

edge rounding and relief.

7.11.3.1 Careful cleaning of the specimen between stages is mandatory to prevent contamination by coarser abrasive. Ultrasonic cleaning may be effective.

7.11.3.2 The polishing operations may be conducted by manual or by automated methods (preferred).

**Manual (Hand-held) Methods**

7.11.4 When grinding manually, the specimen should be moved back and forth across the paper to allow for even wear. Between grinding steps, the specimen should be rotated 45-90°. At the end of grinding on each paper, the surface of the specimen and its mount, if any, should be flat with one set of unidirectional grinding scratches.

7.11.5 Manual polishing methods consist of holding the specimen by hand against an abrasive-charged rotating wheel and moving the specimen in a circular path around the wheel against the direction of rotation of the wheel. The specimen should be held firmly in contact with the wheel.

7.11.6 The amount of force applied along with the rate of movement of the specimen during grinding and polishing is a matter of personal preference and experience. In the preparation of difficult materials such as thermally sprayed coatings or composites, the operating parameters must be strictly controlled.

7.11.7 A traditional manual preparation sequence consists of a series of grinding and polishing steps and may be similar to those listed in Table 5.

**Automated Methods**

7.12.1 Many styles of automated specimen preparation machinery are available. Most units can perform grinding and polishing steps. Many use holders capable of accommodating multiple specimens. Major advantages of automated grinding and polishing procedures are the consistent quality of specimen preparation and the substantial decrease in time. Therefore, automated techniques are recommended over manual techniques.

7.12.2 Most of the devices for automated grinding and polishing move the specimen around a rotating wheel covered

with abrasive so that the specimen follows an epicycloid path. In some devices, the specimen rotates on its own axis as well. The resulting scratch pattern now consists of randomly oriented arcs. Deciding when the previous scratches have been removed is more difficult than with directional (manual) grinding. The specimen surface should show uniform scratches before proceeding to the next step. Cleaning between stages is required to prevent carryover of abrasives and contamination of subsequent preparation surfaces.

Table 5 illustrates a traditional automated preparation method. This method uses conventional SiC papers for grinding and is suitable for all but the hardest of materials. Tables 6 and 7 are preparation methods that utilize rigid grinding discs or cloths for fine grinding. The method in Table 6 has been shown to be effective for the preparation of materials harder than HRC45. The method in Table 7 may be used for the preparation of materials softer than HRC45. These procedures may produce excellent results outside of the recommended hardness ranges.

**12. Special Procedures**

12.1 Occasionally, the metallographer is faced with the preparation of unfamiliar specimens or with special situations. Anticipation of every possible situation is, of course, impossible but some guidance can be offered.

12.1.1 When used properly, electrolytic polishing can produce near deformation-free surfaces but works best on solid solution alloys. Once the operating parameters are set, specimens can be prepared quickly. See Guide E 1558.

12.1.2 Vibratory polishing produces excellent results on many materials. Although slow, a number of specimens can be prepared simultaneously. It is especially advantageous for soft materials.

12.2 *Porous Specimens* Specimens with continuous or open pores can be vacuum-impregnated (see 9.5) with epoxy. Specimens with closed pores are mounted by a suitable method, ground through the fine grinding stage, cleaned, and dried thoroughly. The surface is then wiped with epoxy mounting compound, usually the same material used to mount the specimen, to seal the pores. After hardening, the last

**TABLE 5 Preparation Method 1 (General Use)**

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force <sup>A</sup> N(lbf)	Platen RPM <sup>B</sup>	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120±320 (P120±400) grit SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15±45	20±30 (5±8)	200±300 <sup>C</sup>	CO <sup>D</sup>
Fine Grinding paper	water	240 (P220) grit SiC	15±45	20±30 (5±8)	200±300	CO
paper	water	320 (P500) grit SiC	15±45	20±30 (5±8)	200±300	CO
paper	water	600 (P1200) grit SiC	15±45	20±30 (5±8)	200±300	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	6µm diamond	120±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60±120	10±20 (3±5)	100±150	CO
synthetic suede <sup>E</sup>	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30±60	10±20 (3±5)	100±150	CONTRA <sup>F</sup>

<sup>A</sup> Force per 30 mm (1 1/4 in.) diameter mount.

<sup>B</sup> Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

<sup>C</sup> High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

<sup>D</sup> Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

<sup>E</sup> Optional step.

<sup>F</sup> Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

**TABLE 6 Preparation Method 2 for Harder Materials \$ HRC 45 (450 HV)**

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force <sup>A</sup> N(lbf)	Platen RPM <sup>B</sup>	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120±320 (P120±400) grit SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15±45	20±30 (5±8)	200±300 <sup>C</sup>	CO <sup>D</sup>
Fine Grinding rigid disc	compatible lubricant	6±15µm diamond	180±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3±6µm diamond	120±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60±120	10±20 (3±5)	100±150	CO
synthetic suede <sup>E</sup>	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30±60	10±20 (3±5)	100±150	CONTRA <sup>F</sup>

- 7.14.1 Force per 30 mm (1 1/4 in.) diameter mount.
- 7.14.2 Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.
- 7.14.3 High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.
- 7.14.4 Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.
- 7.14.5 Optional step.
- 7.14.6 Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

**TABLE 7 Preparation Method 3 for Softer Materials # HRC 45 (450 HV)**

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force <sup>A</sup> N(lbf)	Platen RPM <sup>B</sup>	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120±320 (P120±400) grit SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15±45	20±30 (5±8)	200±300 <sup>C</sup>	CO <sup>D</sup>
Fine Grinding heavy nylon cloth	compatible lubricant	6±15µm diamond	180±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3±6µm diamond	120±300	20±30 (5±8)	100±150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60±120	10±20 (3±5)	100±150	CO
synthetic suede <sup>E</sup>	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30±60	10±20 (3±5)	100±150	CONTRA <sup>F</sup>

- 8. Force per 30 mm (1 1/4 in.) diameter mount.
- 9. Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.
- 10. High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.
- 11. Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.
- 12. Optional step.
- 13. Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

The grinding stage is repeated to remove the excess material, and specimen preparation is continued as usual. The choice of epoxy for impregnation depends on the nature of the specimen. It should be inert toward the specimen.

12.3 *Composite Materials* Composite materials, particularly hard fibers in a soft matrix or wires in a soft insulation, can be particularly difficult to prepare. The best approach is to first seal or impregnate pores or holes. Then grind carefully, using copious lubrication. The grinding surface must be kept flat and firm. In the polishing stages, the substrate should have no nap and should be fairly hard. Diamond abrasive is recommended. Both will minimize rounding of the hard components. Sometimes, a compromise will have to be made between accepting a few artifacts such as scratches or rounded edges.

12.4 *Coated Materials:*

12.4.1 Coated metals, such as galvanized steel, electro-plated metal, enamel ware, and so forth, can be considered a variety of composite materials. They present problems of their own, such as flaking, chipping, and rounding. For example, some coatings are so thin as to be unresolvable on simple cross sections (tinplate). Other problems are the presence of a soft coating on a harder substrate (galvanized steel) or a hard brittle coating on a soft substrate (porcelain enamel on aluminum).

12.4.1.1 The problem of thin coatings can be handled by using a taper mount. In this method, the specimen is mounted so that the plane of polish is at a small angle to the plane of the surface. For example, a tapered plug is inserted in the mounting press with the taper up. A blank tapered mount is prepared. Masking tape is wrapped around the circumference of the mount to make a well on the tapered end. A small amount of epoxy mounting compound is mixed. The specimen, cut to fit inside the well, is wetted with the epoxy and laid on the face of the tapered mount, coated side up. Using a probe, the specimen is pressed down firmly onto the tapered face. The balance of the epoxy compound is added and allowed to harden. The mounted specimen is ground and polished on the epoxy face in the conventional manner exercising care that the plane of polish is perpendicular to the cylindrical axis of the mount. This is easily done with most automatic grinding machines.

12.4.1.2 The problem of soft coatings can be solved by the use of a suitable backup. A piece of spring steel is useful to hold the backup in place, or the backup may be cemented to the specimen. The cement can act as an insulation to minimize galvanic effects. Caution: some cements will dissolve in epoxy mounting compounds. A particularly suitable backup is another piece of the same material, with the coating sandwiched in. Another solution is to add another coating, for example,



electroplate. However, this may introduce undesirable galvanic effects during etching. Galvanic problems may arise also from the interaction of the coating and its substrate. The mounting procedure used must result in excellent adhesion to the coated surface to minimize edge rounding. If edge rounding persists, the polishing time and applied force may have to be decreased.

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

12.5 Fragile specimens should be mounted in one of the castable mounting formulations. Vacuum impregnation will ensure @lling of holes and cavities (see 9.5). Thin walls can be reinforced by electroless nickel plating, which will alleviate the rounding problem.

12.6 Likewise, friable specimens can be bound together by impregnation with plastic or by electroless nickel plating, or both. Further guidance can be found in texts on preparation of mineralogical specimens.

### 13. Precision and Bias

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

### 14. Keywords

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

## APPENDIXES

### (Nonmandatory Information)

#### X1. CLEANING SPECIMENS

X1.1 Metallographers frequently need to clean specimens. In some instances, the adherent debris, oxidation, or corrosion product must be collected for analysis, for example, by X-ray diffraction. In other cases, the adherent matter is of no interest, it merely needs to be removed. If the underlying surface is of no interest, the surface can be shot blasted, wire brushed, or ground. However, if the underlying surface is important, for example, a fracture surface, then the cleaning operation must do as little damage as possible. These different aims of the cleaning operation must be kept in mind before formulating the cleaning program.

X1.2 When the adherent material is to be analyzed, a variety of procedures may be applied depending upon whether or not the underlying surface can or cannot be damaged.

X1.2.1 In the case of debris or corrosion product on the surface of a part, a stylus, scalpel, or other sharp object can be used to scrape off or pry off enough material for analysis. This will do some damage to the surface, but it will be localized.

X1.2.2 As an alternative, use cellulose acetate replicating tape to remove surface debris by the extraction replica approach. A number of approaches have been developed and are described in STP 547<sup>3</sup> as well as in many textbooks on electron microscopy. Generally, thick (0.127 mm or 0.005 in.) tape is employed. One surface is moistened with acetone and then pressed against the debris-coated surface. After it dries, strip off the tape in the same way as you would remove adhesive tape. The debris will adhere to the tape.

X1.3 When the surface is to be examined, but the adherent debris will not be analyzed, several approaches can be used. Always try the simplest, safest methods @rst. For example, use

a blast of compressed air to remove any loosely adherent material. A soft camel-hair brush or a soft toothbrush may also be useful for removing loosely adherent matter.

X1.3.1 If the techniques in X1.3 do not suffice, try aqueous solutions, organic solvents, or alcohol with an ultrasonic cleaner. Aqueous solutions (8 g of Alconox per litre of warm water) containing Alconox<sup>4</sup>, a detergent, have been found (1, 2) to be effective. Follow the Alconox bath with rinsing under running water, then dry. Organic solvents, such as acetone, ethyl methyl ketone, toluene, xylene, or alcohol (ethanol is preferable to methanol because of potential health problems with the latter) are also very effective. Before choosing one of these solutions, be sure that it will not adversely affect the material being cleaned. Avoid use of chlorinated organic solvents (such as trichlorethylene or carbon tetrachloride) due to their carcinogenic nature. Repeated replication, as described in X1.2.2, is an effective method for cleaning fractures (3, 4).

X1.3.2 When the procedures in X1.3 and X1.3.1 are unsuccessful, more drastic methods are required. Electrolytic cleaning solutions (Table X1.1), have been found to be quite useful. An inert material (stainless steel, graphite, or platinum, for example) is used as an anode, while the specimen is the cathode in the electrolytic cell. Some of these solutions can generate dangerous fumes, hence they should be used under a hood with care. Endox 214<sup>5</sup> has been found (1) to be useful for cleaning heavily rusted steel fractures.

X1.3.3 Cathodic cleaning solutions or acid-inhibited baths have also been employed to clean fractures (3, 5). However, as the degree of corrosion or oxidation increases, fracture features will be destroyed to a greater extent and cleaning, while it can

<sup>3</sup> Manual Electron Metallography Techniques, © 1973. Available from ASTM Headquarters. Request STP 547.

<sup>4</sup> Alconox is available from Alconox, Inc., New York, NY 10003. An equivalent can be used.

<sup>5</sup> Endox 214 is available from Enthone, Inc., West Haven, CT 06516. An equivalent can be used.

**TABLE X1.1 Cleaning Solutions for Use When Standard Methods Are Inadequate**

6N HCl plus 2 g/L Hexamethylene tetramine <sup>A</sup>	Immerse specimen in solution for 1 to 15 min. Good for steels. Cleaning action can be enhanced by light brushing or by brief (5 s) periods in an ultrasonic cleaner.
3 mL HCl 4 mL 2-Butyne-1, 4 diol inhibitor 50 mL water <sup>B</sup>	Use a fresh solution at room temperature. Use in an ultrasonic cleaner for about 30 s.
49 mL water 49 mL HCl 2 mL Rodine-50 inhibitor <sup>C</sup>	Wash specimen in alcohol for 2 min in an ultrasonic cleaner before and after a 2-min ultrasonic cleaning period with the inhibited acid bath.
6 g sodium cyanide 6 g sodium sulphite 100 mL distilled water <sup>DEF</sup>	Electrolytic rust removal solution. Use under a hood with care. Use 100-mA/cm <sup>2</sup> current density for up to 15 min.
10 g ammonium citrate 100 mL distilled water <sup>G</sup>	Use solution heated to 30°C (86°F).
70 mL orthophosphoric acid 32 g chromic acid 130 mL water <sup>H</sup>	Recommended for removing oxides from aluminum alloy fractures (some sources claim that only organic solvents should be used).
8 oz endox 214 powder 1000 mL cold water (add small amount of Photo-Flo) <sup>I,J</sup>	Use electrolytically at 250-mA/cm <sup>2</sup> current density for 1 min with a Pt cathode to remove oxidation products. Wash in an ultrasonic cleaner with the solution for 1 min. Repeat this cycle several times if necessary. Use under a hood.

<sup>A</sup> deLeiris, H., et al, <sup>a</sup>Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts that are to be Examined by Electron Microfractography,<sup>o</sup>*Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463±472.

<sup>B</sup> Dahlberg, E. P., <sup>a</sup>Techniques for Cleaning Service Failures in Preparation for Scanning Electron Microscope and Microprobe Analysis,<sup>o</sup>*Scanning Electron Microscopy*, 1974, Part IV, pp. 911±918.

<sup>C</sup> Brooks, C. E., and Lundin, C. D., <sup>a</sup>Rust Removal from Steel Fractures<sup>o</sup>Effect on Fractographic Evaluation,<sup>o</sup> *Microstructural Science*, Vol 3A, Elsevier, NY, 1975, pp. 21±33.

<sup>D</sup> deLeiris, H., et al, <sup>a</sup>Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts That Are to be Estimated by Electron Microfractography,<sup>o</sup>*Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463±472.

<sup>E</sup> Russ, J. C., and Miller, G. A., <sup>a</sup>Effect of Oxidization on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel,<sup>o</sup>*JISI*, December 1969, pp. 1635±1638.

<sup>F</sup> Pickwick, K. M., and Smith, E., <sup>a</sup>The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations,<sup>o</sup>*Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224±237.

<sup>G</sup> Interrante, C. G., and Hicho, G. E., <sup>a</sup>Removal of Iron-Sulphide Deposits from Fracture Surfaces,<sup>o</sup>*ASTM STP 610*, 1976, pp. 349±365.

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

<sup>I</sup> Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., <sup>a</sup>An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials,<sup>o</sup>*Prakt. Met.*, Vol 15, April 1978, pp. 184±195.

<sup>J</sup> Goubau, B., and Werner, H., <sup>a</sup>Microfractographic Investigation of Fracture Surfaces Coated With Magnetite,<sup>o</sup>*Prakt. Met.*, Vol 17, No. 5, May 1980, pp. 209±219.

remove the surface deposits, cannot restore damaged fracture features.

X1.3.4 A number of proprietary rust removal solutions have been developed. These are premixed and used directly out of the container. Two such products are described in Refs 6 and 7.

X1.3.5 Cleaning can also be accomplished by argon-ion

bombardment (6) or by use of a glow-discharge method (7, 8). These methods require specialized equipment.

## X2. APPLIED LOAD CONVERSIONS

X2.1 Automated preparation machines commonly display force in either pound-force (lbf) or newtons (N). The ability to convert from one unit to the other may be necessary when trying to interpret a documented procedure.

X2.1.1 To convert from pound-force to newton multiply the pound-force value by 4.5.

X2.1.2 To convert from newton to pound-force multiply the newton value by 0.225.

X2.2 When multiple specimens of equal contact area are held in a holder, the applied force must be divided by the number of specimens in the holder to determine the load per specimen.

X2.2.1 Some automated machines apply force individually to each specimen. In this case it is necessary to divide the force by the contact area to determine the load per specimen.

X2.3 Caution should be taken when using automated machines that display pressure in pound-force per square inch (psi). Typically, the machine is displaying the air pressure within the loading cylinder and not the actual pressure applied to either the specimen holder or individual specimen.

X2.4 When converting from a force to a pressure, the surface area of the specimen(s) must be determined. The value of force is then divided by the contact area to determine the required pressure.

### X3. PROCEDURE IMPROVEMENT

X3.1 To improve the preparation of a particular material, try one of the preparation methods described in Table 5, Table 6, or Table 7. Following are general guidelines that may help improve results.

X3.2 If a material is being prepared for the first time, the surface should be microscopically examined after every step.

X3.3 Before proceeding to the next step, be sure that all deformation and artifacts from the previous step, such as scratches, pull-outs or embedded grains, are completely removed. It is difficult to identify when an artifact was introduced if the specimen is not examined prior to the final step. You must know when the artifact was introduced in order to improve the method.

X3.4 Keep the preparation times as short as possible. Excessive preparation wastes consumables and may introduce artifacts such as relief and edge rounding.

X3.5 New consumables such as polishing cloths or diamond grinding products may need to be "broken in" for a short period prior to use.

X3.6 The following section lists common preparation artifacts and prevention measures.

X3.7 *Scratches*—Scratches are grooves in the surface of the specimen produced by the points of abrasive particles.

X3.7.1 Make sure that after planar grinding the surface of all of the specimens in the holder exhibit the same uniform scratch pattern over the entire specimen. Repeat the planar grinding step if necessary.

X3.7.2 Clean the specimens and holder carefully after each step to avoid contamination.

X3.7.3 If there are still scratches left over from the previous step after finishing the current step, increase the preparation time by 25 to 50 %. If this does not work then you should consider altering the method by inserting an intermediate step.

X3.8 *Deformation*—Deformation can be classified by two types, elastic and plastic. Elastic deformation disappears when the applied load is removed. Plastic deformation, often called cold work, can be induced during sectioning, mounting, grinding, lapping or polishing. Residual plastic deformation can first be seen after etching. Only deformation that was introduced during metallographic preparation can be eliminated with procedure modification. Deformation from manufacturing operations such as bending, drawing and stretching are not considered because they cannot be removed by altering the preparation method.

X3.8.1 If the deformation is visible in brightfield in the unetched condition, please see X3.7.3 Scratches, for tips on how to improve the preparation.

X3.8.2 If after etching, the deformation is restricted to single or a few grains then it is minimal and may be removed by repeating the previous step.

X3.8.3 If after etching, the deformation is well defined covering several grains or even the whole specimen, then it may have been recently introduced. Check and clean the polishing cloth for possible contamination. Replace the cloth if results do not improve (see section X.2.1.4 ). Repeat the previous step.

X3.8.4 If after etching, the deformation is in the form of long, blunt lines covering several grains (with possible interruptions) then it may have been introduced from an earlier stage. Repeat the procedure starting from the fine grinding stage.

X3.9 *Smearing*—Smearing is the flow of material at the surface of the specimen. It is the result of material being "pushed" across the surface instead of being cut.

X3.9.1 Check the amount of lubricant. Smearing most often occurs when lubrication levels are too low. Increase or change the lubricant to eliminate smearing.

X3.9.2 Check the applied load. Excessive loads can result in smearing. Reduce the load to eliminate smearing.

X3.9.3 Check the abrasive size. Abrasives grains that are too small may not be effective in material removal. Increase the abrasive grain size.

X3.10 *Edge Rounding*—Edge rounding results when the edge of the specimen abrades at a greater rate than the body of the specimen.

X3.10.1 Mount the specimen. Unmounted specimens always exhibit greater edge rounding than mounted specimens.

X3.10.2 Use the correct mounting compound. There should be minimal shrinkage of the mounting compound away from the specimen. Try to match the abrasion resistance of the mounting compound closely to that of the specimen. See Section 9.

X3.10.3 If the edge rounding first occurred during grinding, consider changing the grinding substrate to a less resilient form. Also consider changing the abrasive type. Diamond abrasive is often more effective than SiC at cutting hard materials.

X3.10.4 Reduce polishing times as much as possible. Long polishing procedures often result in excessive edge rounding.

X3.10.5 Reduce applied load. Normally lower loads result in less edge rounding.

X3.10.6 Change the polishing lubricant. Oil or water/oil type lubricants may help preserve edges.

X3.10.7 Change the polishing cloth. Less resilient cloths produce better edges.

X3.10.8 If the preceding steps are ineffective then consider plating the specimen. See Section 10.

X3.11 *Relief*—Relief results when material from different phases is removed at different rates due to varying hardness or wear rate of individual phases.

X3.11.1 Relief normally first occurs during polishing. However, if there are extreme differences in the hardness between phases it may occur during grinding. If this is the case then an

alternative grinding method should be considered. See Tables 5 and 6.

X3.11.2 Polishing time should be kept to a minimum.

X3.11.3 Polishing cloths that have less resiliency produce less relief (see Edge Rounding in X3.10).

X3.11.4 The polishing abrasive should be at least 2.5 times harder (on the Vickers scale) than the hardest phase being polished.

X3.12 *Pull-outs*DPullouts are the cavities left in the surface after grains or particles are torn out during preparation.

X3.12.1 Avoid high loads during grinding and polishing.

X3.12.2 Do not use coarse abrasives for Planar or Fine grinding steps.

X3.12.3 Do not make large abrasive size jumps between preparation steps. Insert an intermediate step if necessary.

X3.12.4 Napless polishing cloths produce less pull-out than napped cloths.

X3.12.5 Every step has to remove the damage from the previous step, and has to introduce as little damage as possible.

X3.12.6 Check the specimen after every step in order to find out when the pull-out occurs.

X3.13 *Gaps*DGaps are the voids between the mounting compound and the specimen. Gaps can result in a variety of preparation artifacts such as edge rounding, contamination and staining.

X3.13.1 Clean and dry the specimen thoroughly prior to mounting.

X3.13.2 Select a mounting compound with low shrinkage (see Section 9).

X3.13.3 For hot compression mounting, cool the specimen under pressure.

X3.13.4 For castable mounting compounds, avoid high curing temperatures. It may be necessary to cool the specimen during the curing.

X3.13.5 Specimen height should be kept as low as practical to minimize gaps when using hot compression mounting.

X3.14 *Contamination*DContamination is material from a source other than the specimen itself which is deposited on the specimen surface during grinding or polishing.

X3.14.1 Thoroughly clean the specimen between preparation steps (see 11.2.5, 11.3.3).

X3.14.2 Store grinding and polishing discs in a clean, dust-free environment.

X3.14.3 Change grinding or polishing substrate/abrasive if necessary.

X3.15 *Embedded Abrasive*DEmbedded abrasive results when loose grinding, lapping, or polishing abrasive sticks into the surface of the specimen.

X3.15.1 Embedded abrasive is most common with soft non-ferrous materials.

X3.15.2 Change to a more resilient grinding substrate.

X3.15.3 Use a block of paraffin or candle to "pick up" loose SiC particles on fine grit papers. This is done by lightly passing the paraffin block across the paper.

X3.15.4 Change to a more resilient polishing substrate when using diamond abrasives that are less than 3µm in diameter.

X3.15.5 Change to an oil or water/oil-based polishing lubricant.

X3.16 *Lapping Tracks*DLapping tracks are indentations on the specimen surface made by abrasive particles moving freely (rolling) on a hard surface. Lapping tracks can be produced during both grinding and polishing.

X3.16.1 Change to a more resilient grinding or polishing substrate.

X3.16.2 Increase the applied load in 10 % increments until the lapping tracks disappear.

X3.16.3 Employ optimal dynamics.

## REFERENCES

- (1) Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., "An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials," *Practical Metallography*, Vol 15, April 1978, pp. 184±195.
- (2) Zipp, R. D., "Preservation and Cleaning of Fracture for Fractography," *Scanning Electron Microscopy*, Part I, 1979, pp. 355±362.
- (3) Russ, J. C., and Miller, G. A., "Effect of Oxidation on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel," *Journal, Iron and Steel Institute*, Vol 207, December 1969, pp. 1635±1638.
- (4) Pickwick, K. M., and Smith, E., "The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations," *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224±237.
- (5) Lane, G. S., and Ellis, J., "The Examination of Corroded Fracture Surfaces in the Scanning Electron Microscope," *Corrosion Science*, Vol 11, September 1971, pp. 661±663.
- (6) Macmillan, J. W., and Flewitt, P. E. J., "Assessment of Methods for Cleaning Oxide from Fracture Surfaces for Examination in a Scanning Electron Microscope," *Micron*, Vol 6, No. 3/4, 1975, pp. 141±146.
- (7) ASTM Task Group E24.02, "Clean Surfaces for Fractography," ASTM STP 600, ASTM, Philadelphia, PA, 1976, pp. 251±253.
- (8) Hajicek, D. J., et al, "Development of a Cleaning Method for SEM Fractographic Analysis of Impulsively Loaded Cylinders," *Microstructural Science*, Vol 5, Elsevier, NY, 1977, pp. 413±421.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every 5 years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

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



Designation: E 8 ± 04

## Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 8; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

### 2. Scope\*

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

NOTE 1: A complete metric companion to Test Methods E 8 has been developed, therefore, no metric equivalents are shown in these test methods. Committee E28 was granted an exception in 1997 by the Committee on Standards to maintain E8 and E8M as separate companion standards rather than combining standards as recommended by the Form and Style Manual.

NOTE 2: Gage lengths in these test methods are required to be 4D for most round specimens. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

NOTE 3: Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A 370 and Test Methods B 557.

NOTE 4: Room temperature shall be considered to be 50 to 100°F unless otherwise specified.

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

### 3. Referenced Documents

#### 3.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

A 356/A 356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines

<sup>3</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved April 1, 2004. Published May 2004. Originally approved in 1924. Last previous edition approved 2003 as E 8 ± 03.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- B 557 Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E 8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers
- E 208 Test Method for Conducting Drop-Weight Test to Determine Nil-Ductility Transition Temperature of Ferritic Steels
- E 345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading

### 6. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E 6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods of tension testing. Additional terms being defined are as follows:

3.1.1 *discontinuous yielding*—In a uniaxial test, a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding. (The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.)

3.1.2 *lower yield strength, LYS* [ $FL^{-2}$ ]—In a uniaxial test, the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.3 *upper yield strength, UYS* [ $FL^{-2}$ ]—In a uniaxial test, the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding at or near the onset of plastic deformation.

3.1.4 *yield point elongation, YPE*—In a uniaxial test, the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening. If the

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



transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of interest. If there is no point at or near the onset of yielding at which the slope reaches zero, the material has 0 % YPE.

3.1.5 *uniform elongation,  $E_{L_{us}}$  [%]*—The elongation determined at the maximum force sustained by the test piece just prior to necking or fracture, or both.

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

#### 4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments. The test methods have been used extensively in the trade for this purpose.

#### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E 4. The forces used in determining tensile strength and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E 4.

##### 5.2 Gripping Devices:

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured force applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gage length, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine. Any departure from this requirement may introduce bending stresses that are not included in the usual stress computation (force divided by cross-sectional area).

NOTE 5—The effect of this eccentric force application may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard 1/2-in. diameter specimen, the stress increase is 1.5 percentage points for each 0.001 in. of eccentricity. This error increases to 2.24 percentage points/0.001 in. for a 0.350-in. diameter specimen and to 3.17 percentage points/0.001 in. for a 0.250-in. diameter specimen.

NOTE 6—Alignment methods are given in Practice E 1012.

5.2.2 *Wedge Grips*—Testing machines usually are equipped with wedge grips. These wedge grips generally furnish a satisfactory means of gripping long specimens of ductile metal and flat plate test specimens such as those shown in Fig. 1. If, however, for any reason, one grip of a pair advances farther than the other as the grips tighten, an undesirable bending stress may be introduced. When liners are used behind the wedges, they must be of the same thickness and their faces must be flat and parallel. For best results, the wedges should be

supported over their entire lengths by the heads of the testing machine. This requires that liners of several thicknesses be available to cover the range of specimen thickness. For proper gripping, it is desirable that the entire length of the serrated face of each wedge be in contact with the specimen. Proper alignment of wedge grips and liners is illustrated in Fig. 2. For short specimens and for specimens of many materials it is generally necessary to use machined test specimens and to use a special means of gripping to ensure that the specimens, when under load, shall be as nearly as possible in uniformly distributed pure axial tension (see 5.2.3, 5.2.4, and 5.2.5).

5.2.3 *Grips for Threaded and Shouldered Specimens and Brittle Materials*—A schematic diagram of a gripping device for threaded-end specimens is shown in Fig. 3, while Fig. 4 shows a device for gripping specimens with shouldered ends. Both of these gripping devices should be attached to the heads of the testing machine through properly lubricated spherical-seated bearings. The distance between spherical bearings should be as great as feasible.

5.2.4 *Grips for Sheet Materials*—The self-adjusting grips shown in Fig. 5 have proven satisfactory for testing sheet materials that cannot be tested satisfactorily in the usual type of wedge grips.

5.2.5 *Grips for Wire*—Grips of either the wedge or snubbing types as shown in Fig. 5 and Fig. 6 or flat wedge grips may be used.

5.3 *Dimension-Measuring Devices*—Micrometers and other devices used for measuring linear dimensions shall be accurate and precise to at least one half the smallest unit to which the individual dimension is required to be measured.

5.4 *Extensometers*—Extensometers used in tension testing shall conform to the requirements of Practice E 83 for the classifications specified by the procedure section of this test method. Extensometers shall be used and verified to include the strains corresponding to the yield strength and elongation at fracture (if determined).

5.4.1 Extensometers with gage lengths equal to or shorter than the nominal gage length of the specimen (dimension shown as <sup>a</sup>G-Gage Length<sup>o</sup> in the accompanying figures) may be used to determine the yield behavior. For specimens without a reduced section (for example, full cross sectional area specimens of wire, rod, or bar), the extensometer gage length for the determination of yield behavior shall not exceed 80 % of the distance between grips. For measuring elongation at fracture with an appropriate extensometer, the gage length of the extensometer shall be equal to the nominal gage length required for the specimen being tested.

#### 6. Test Specimens

##### 6.1 General:

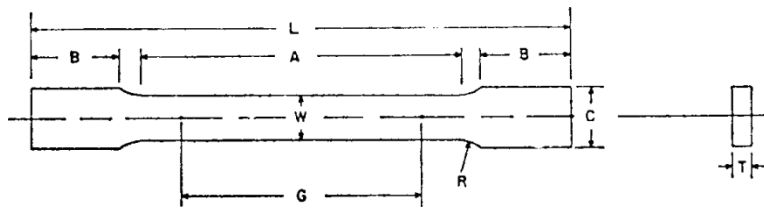
6.1.1 *Specimen Size*—Test specimens shall be either substantially full size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

6.1.2 *Location*—Unless otherwise specified, the axis of the test specimen shall be located within the parent material as follows:

6.1.2.1 At the center for products 1/2 in. or less in thickness, diameter, or distance between flats.



## E 8 ± 04



Dimensions

	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -in. Wide in.	Sheet-Type, 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -in. Wide in.	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> -in. Wide in.
G Gage length (Note 1 and Note 2)	8.00 6 0.01	2.0006 0.005	1.000 6 0.003
W Width (Note 3 and Note 4)	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> + 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> , - 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	0.5006 0.010	0.250 6 0.005
T Thickness (Note 5)		thickness of material	
R Radius of fillet, min (Note 6)	1	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
L Over-all length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	18	8	4
A Length of reduced section, min	9	2 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
B Length of grip section, (Note 8)	3	2	1 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
C Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	2	3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>

NOTE 1D For the 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-in. wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the  $\bar{a}$  at or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 1 in. apart, or one or more pairs of punch marks 8 in. apart may be used.

NOTE 2D When elongation measurements of 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-in. wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 2 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> in. may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

NOTE 3D For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004, 0.002 or 0.001 in., respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 0.015, 0.005, or 0.003 in., respectively, larger than the width at the center.

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

NOTE 5D The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-in. wide specimens shall be 3<sup>3</sup>/<sub>16</sub> in. Maximum thickness of 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-in. and 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>-in. wide specimens shall be 3<sup>3</sup>/<sub>4</sub> in. and 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> in., respectively.

NOTE 6D For the 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-in. wide specimen, a 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-in. minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 100 000 psi in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

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

NOTE 8D To aid in obtaining axial force application during testing of 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>-in. wide specimens, the over-all length should be as large as the material will permit, up to 8.00 in.

NOTE 9D It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-in. wide specimens is over 3<sup>3</sup>/<sub>8</sub> in., longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10D For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 0.10, 0.05 and 0.005 in., respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-in. wide specimen shall be symmetrical within 0.01 in.

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

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

FIG. 1 Rectangular Tension Test Specimens

6.1.2.2 Midway from the center to the surface for products over 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> in. in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.3 Specimen Machining Improperly prepared test specimens often are the reason for unsatisfactory and incorrect test results. It is important, therefore, that care be exercised in the preparation of specimens, particularly in the machining, to maximize precision and minimize bias in test results.

6.1.3.1 The reduced sections of prepared specimens should be free of cold work, notches, chatter marks, grooves, gouges, burrs, rough surfaces or edges, overheating, or any other condition which can deleteriously affect the properties to be measured.



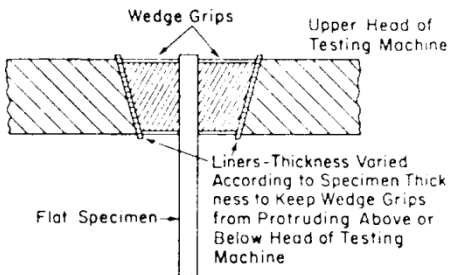


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

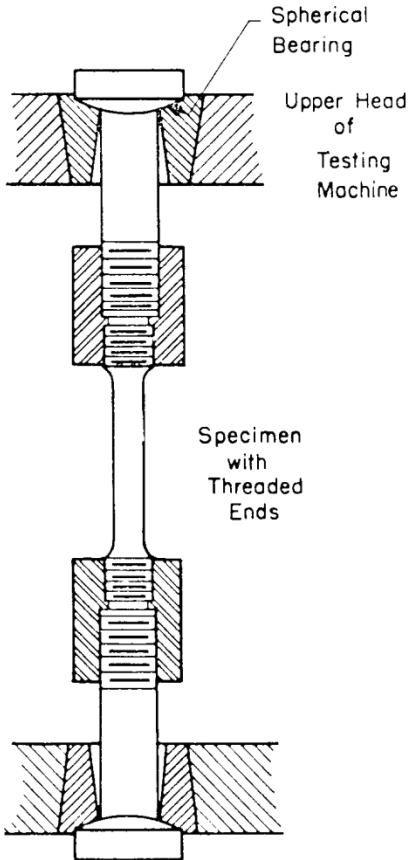


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

NOTE 7—Punching or blanking of the reduced section may produce significant cold work or shear burrs, or both, along the edges which should be removed by machining.

6.1.3.2 Within the reduced section of rectangular specimens, edges or corners should not be ground or abraded in a manner which could cause the actual cross-sectional area of the specimen to be significantly different from the calculated area.

6.1.3.3 For brittle materials, large radius fillets at the ends of the gage length should be used.

6.1.3.4 The cross-sectional area of the specimen should be smallest at the center of the reduced section to ensure fracture within the gage length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens described in the following sections.

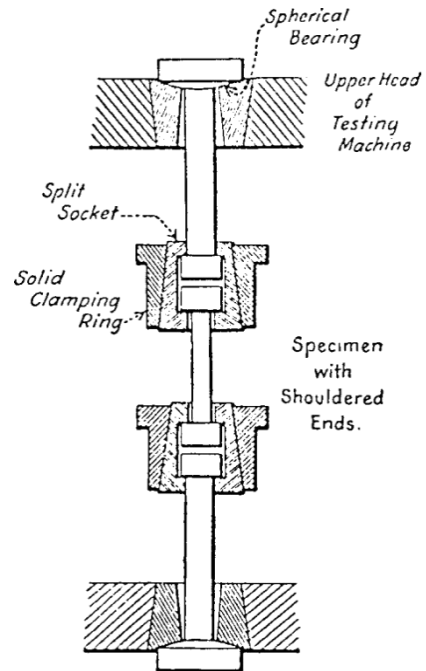


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

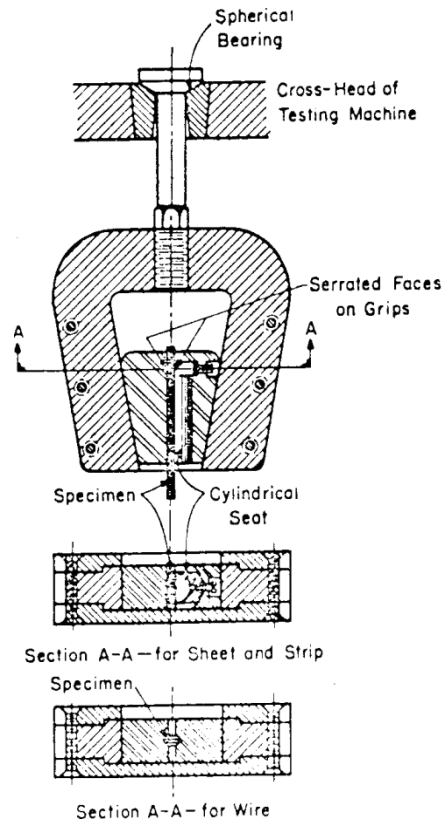
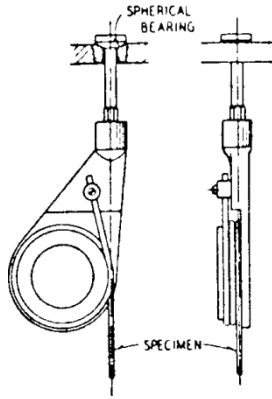


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

6.1.4 Specimen Surface Finish—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface



**FIG. 6 Snubbing Device for Testing Wire**

Finish of the test specimens should be as provided in the applicable product specifications.

NOTE 8 Particular attention should be given to the uniformity and quality of surface finish of specimens for high strength and very low ductility materials since this has been shown to be a factor in the variability of test results.

6.2 *Plate-Type Specimens*—The standard plate-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of plate, shapes, and flat material having a nominal thickness of  $\frac{3}{16}$  in. or over. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.3, 6.4, and 6.5.

6.3 *Sheet-Type Specimens*:

6.3.1 The standard sheet-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the

form of sheet, plate, flat wire, strip, band, hoop, rectangles, and shapes ranging in nominal thickness from 0.005 to  $\frac{3}{4}$  in. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.2, 6.4, and 6.5.

NOTE 9 Test Methods E 345 may be used for tension testing of materials in thicknesses up to 0.0059 in.

6.3.2 Pin ends as shown in Fig. 7 may be used. In order to avoid buckling in tests of thin and high-strength materials, it may be necessary to use stiffening plates at the grip ends.

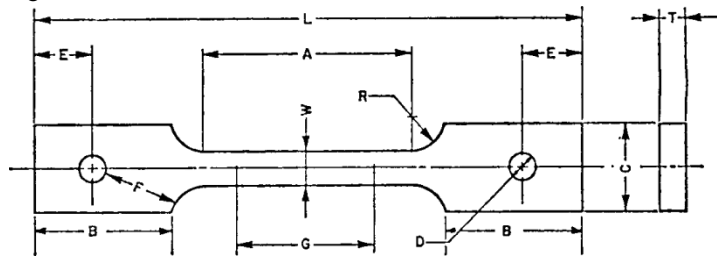
6.4 *Round Specimens*:

6.4.1 The standard 0.500-in. diameter round test specimen shown in Fig. 8 is used quite generally for testing metallic materials, both cast and wrought.

6.4.2 Fig. 8 also shows small-size specimens proportional to the standard specimen. These may be used when it is necessary to test material from which the standard specimen or specimens shown in Fig. 1 cannot be prepared. Other sizes of small round specimens may be used. In any such small-size specimen it is important that the gage length for measurement of elongation be four times the diameter of the specimen.

6.4.3 The shape of the ends of the specimen outside of the gage length shall be suitable to the material and of a shape to fit the holders or grips of the testing machine so that the forces may be applied axially. Fig. 9 shows specimens with various types of ends that have given satisfactory results.

6.5 *Specimens for Sheet, Strip, Flat Wire, and Plate*—In testing sheet, strip, flat wire, and plate, use a specimen type appropriate for the nominal thickness of the material, as described in the following:



Dimensions in.

G	Gage length	2.000 ± 0.005
W	Width (Note 1)	0.500 ± 0.010
T	Thickness, max (Note 2)	$\frac{5}{16}$
R	Radius of fillet, min (Note 3)	$\frac{1}{2}$
L	Over-all length, min	8
A	Length of reduced section, min	$2\frac{1}{4}$
B	Length of grip section, min	2
C	Width of grip section, approximate	2
D	Diameter of hole for pin, min (Note 4)	$\frac{1}{2}$
E	Edge distance from pin, approximate	$1\frac{1}{2}$
F	Distance from hole to fillet, min	$\frac{1}{2}$

NOTE 1 The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.002 in. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 0.005 in. greater than the width at the center.

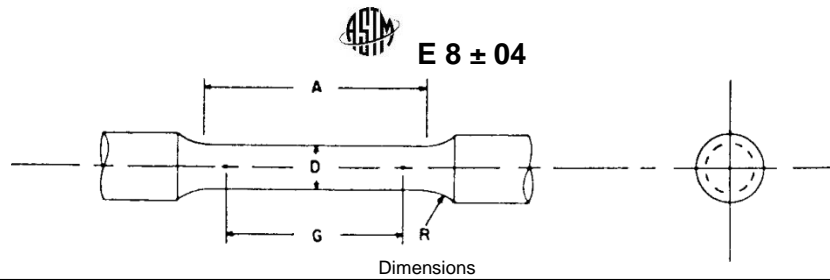
NOTE 2 The dimension *T* is the thickness of the test specimen as stated in the applicable product specifications.

NOTE 3 For some materials, a fillet radius *R* larger than  $\frac{1}{2}$  in. may be needed.

NOTE 4 Holes must be on center line of reduced section, within ±0.002 in.

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

**FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length**



	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	in.	in.	in.	in.	in.
Nominal Diameter	0.500	0.350	0.250	0.160	0.113
Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005	0.640 ± 0.005	0.450 ± 0.005
Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
Radius of fillet, min	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{3}{32}$
Length of reduced section, min (Note 2)	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$

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

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

NOTE 3D The gage length and fillets may be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

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

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

NOTE 6D Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross-sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.<sup>2</sup>, respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these five diameters do not result in correspondingly convenient cross-sectional areas and multiplying factors.)

**FIG. 8 Standard 0.500-in. Round Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen**

6.5.1 For material with a nominal thickness of 0.0005-0.1875 in., use the sheet-type specimen described in 6.3.

6.5.2 For material with a nominal thickness of 0.1875-0.500 in., use either the sheet-type specimen of 6.3 or the plate-type specimen of 6.2.

6.5.3 For material with a nominal thickness of 0.500±0.750 in., use either the sheet-type specimen of 6.3, the plate-type specimen of 6.2, or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4 For material with a nominal thickness of 0.750 in., or greater, use the plate-type specimen of paragraph 6.2 or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4.1 If the product specifications permit, material of a thickness of 0.750 in., or greater may be tested using a modified sheet-type specimen conforming to the configuration shown by Fig. 2. The thickness of this modified specimen must be machined to 0.400 ± 0.020 in., and must be uniform within 0.004 in. throughout the reduced section. In the event of disagreement, a round specimen shall be used as the referee specimen.

**6.6 Specimens for Wire, Rod, and Bar:**

6.6.1 For round wire, rod, and bar, test specimens having the full cross-sectional area of the wire, rod, or bar shall be used wherever practicable. The gage length for the measurement of elongation of wire less than 1/8 in. in diameter shall be as

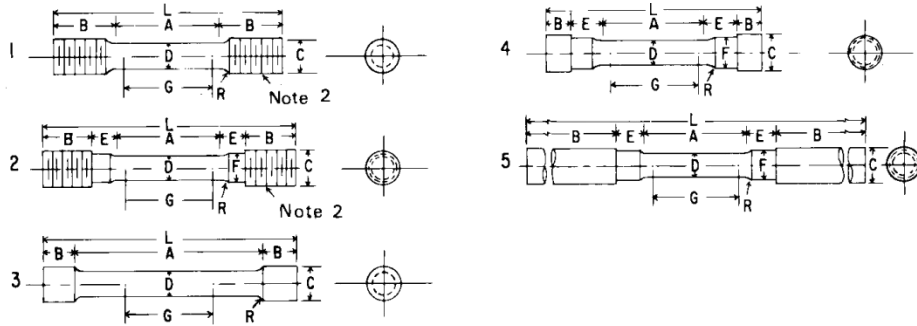
prescribed in product specifications. In testing wire, rod, or bar that has a 1/8-in. or larger diameter, unless otherwise specified, a gage length equal to four times the diameter shall be used. The total length of the specimens shall be at least equal to the gage length plus the length of material required for the full use of the grips employed.

6.6.2 For wire of octagonal, hexagonal, or square cross section, for rod or bar of round cross section where the specimen required in 6.6.1 is not practicable, and for rod or bar of octagonal, hexagonal, or square cross section, one of the following types of specimens shall be used:

6.6.2.1 *Full Cross Section* (Note 10) It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gage marks. For material not exceeding 0.188 in. in diameter or distance between flats, the cross-sectional area may be reduced to not less than 90 % of the original area without changing the shape of the cross section. For material over 0.188 in. in diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.010 in. without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 0.188 in. between flats may be turned to a round having a cross-sectional area not smaller than 90 % of the area of the maximum inscribed circle. Fillets, preferably with a radius of 3/8 in., but



E 8 ± 04



	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.	in.	in.	in.	in.
G Gage length	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005	2.000 6 0.005
D Diameter (Note 1)	0.500 6 0.010	0.500 6 0.010	0.5006 0.010	0.5006 0.010	0.5006 0.010
R Radius of fillet, min	<sup>3</sup> / <sub>16</sub>	<sup>3</sup> / <sub>16</sub>	<sup>1</sup> / <sub>16</sub>	<sup>3</sup> / <sub>16</sub>	<sup>3</sup> / <sub>16</sub>
A Length of reduced section	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> , min	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> , min	4, approximately	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> , min	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> , min
L Over-all length, approximate	5	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
B Length of end section (Note 3)	1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> , approximately	1, approximately	1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> , approximately	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> , approximately	3, min
C Diameter of end section	<sup>3</sup> / <sub>4</sub>	<sup>3</sup> / <sub>4</sub>	<sup>3</sup> / <sub>4</sub>	<sup>1</sup> / <sub>2</sub>	<sup>3</sup> / <sub>4</sub>
E Length of shoulder and fillet section, approximate	...	<sup>5</sup> / <sub>8</sub>	...	<sup>3</sup> / <sub>4</sub>	<sup>5</sup> / <sub>8</sub>
F Diameter of shoulder	...	<sup>5</sup> / <sub>8</sub>	...	<sup>5</sup> / <sub>8</sub>	<sup>19</sup> / <sub>32</sub>

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

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

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

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

not less than <sup>1</sup>/<sub>8</sub> in., shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 0.188 in. diameter may be turned to a round having a diameter no smaller than 0.010 in. less than the original diameter between flats.

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

NOTE 10D The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened surfaces are parallel and that the two parallel surfaces on the same side of the axis of the test specimen lie in the same plane.

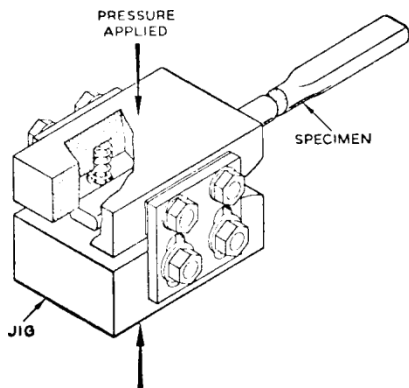


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens



# Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 10; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

<sup>e1</sup> NOTE—Section 8.4.1 was editorially updated in June 2004.

## 1. Scope\*

1.1 This test method (Test Method A) covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials, including methods for the verification of Brinell hardness testing machines (Test Method B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Test Method C).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

NOTE 1—In common terminology, the equivalent force in kgf is substituted for N.

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

## 4. Referenced Documents

### 4.1 ASTM Standards:

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>2</sup>

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to

Determine Conformance with Specifications<sup>3</sup>

E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines<sup>2</sup>

E 140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness<sup>2</sup>

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *Brinell hardness number*—A number, which is proportional to the quotient obtained by dividing the test force by the

curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

$$HBW \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{~See Table 1!} \quad (1)$$

where:

*D* = diameter of the ball, mm,

*F* = test force, N, and

*d* = mean diameter of the indentation, mm.

The Brinell hardness is denoted by the symbol: HBW.

3.2 *Discussion*—In former standards, a steel ball was allowed for hardness values below 450. In cases when a steel ball was used, the Brinell hardness was denoted by HB or HBS.

3.3 *Discussion*—The symbol HBW is preceded by the hardness value. When conditions other than those specified in 3.1.5 are used, the hardness value is supplemented by an index indicating the test conditions in the order:

(1) Diameter of the ball, in mm,

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

(3) Duration of loading, in s.

### Examples:

350 HBW 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a ball of 5-mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 to 15 s.

600 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 600 determined with a ball of 1-mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s.

*Discussion*—Brinell hardness numbers vary with the test force used; however, test results will generally be in agreement when the ratio of the test force to the square of the ball diameter is held constant (see Table 3).

*Discussion*—Table 2 lists the Brinell hardness numbers corresponding to various diameters of indentations for 29.4 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), and 4.90 kN (500 kgf) test forces making it unnecessary to calculate for each test the value of the Brinell hardness number by the above equation in Table 1 when these forces are used with a 10-mm diameter ball.

3.1.2 *Brinell hardness test*—An indenter (tungsten carbide ball with diameter *D*) is forced into the surface of a test piece and the diameter of the indentation *d* left in the surface after removal of the test force, *F*, is measured. (see Table 1 and Figs. 1 and 2.)

<sup>5</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved February 10, 2001. Published April 2001. Originally published as E 10 ± 24 T. Last previous edition E 10 ± 00a.

<sup>6</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

<sup>7</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

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



**TABLE 1 Symbols and Designations**

NOTE 1	Constant	5	$\frac{1}{g_H}$	1	5 9.806 65	5 0.102
Symbol	Designation					
<i>D</i>	Diameter of the ball, mm					
<i>F</i>	Test force, N					
<i>d</i>	Mean diameter of the indentation, mm					
<i>h</i>	Depth of the indentation, mm					
HBW	5	$\frac{D^2 - D^2 d^2}{2}$	Brinell hardness			
			Test force			
	5	Constant 3	$\frac{\text{Surface area of indentation}}{2F}$			
	5	0.102 3	$pD - D^2 = \frac{D^2 - d^2}{4}$			

and tolerances indicated in Table 4 may be used also provided the precautions set forth in 8.1 are observed.

5.2.2 The tungsten carbide ball indenter shall have a minimum hardness of 1500 HV10.

NOTE 2 **Caution:** The Brinell test is not recommended for material having hardness over 650 HBW (see 8.1).

5.2.2.1 The chemical composition of tungsten carbide balls shall be:

Tungsten Carbide (WC)	Balance
Cobalt (Co)	5.0 to 7.0 %
Total other Carbides	2.0 % max

5.2.2.2 The use of hardened steel ball indenters has been eliminated from this test method. Only tungsten carbide balls may now be used for this test method.

5.2.3 If a ball is used to test a specimen which shows a Brinell hardness greater than 650, the result should be considered suspect and the ball inspected for damage. If there is any evidence of damage, the ball shall be replaced.

5.3 **Measuring Device**—The divisions of the micrometer scale of the microscope or other measuring devices used for the measurement of the diameter of the indentations shall be such as to permit the direct measuring of the diameter to 0.1 mm and the estimation of the diameter to 0.05 mm.

NOTE 3—This requirement applies to the construction of the device only and is not a requirement for measurement of the indentation.

**6. Test Specimen**

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

7.1 **Thickness**—The thickness of the specimen tested shall be such that no bulge or other marking showing the effect of the test force appears on the side of the piece opposite the indentation. As a general rule, the thickness of the specimen shall be at least ten times the depth of the indentation (Table 5).

7.2 The minimum width shall conform with the requirements of 8.3.

7.3 **Finish**—When necessary, the surface on which the indentation is to be made shall be  $\text{\textcircled{a}}$ led, ground, machined or polished with abrasive material so that the edge of the indentation shall be clearly defined to permit the measurement of the diameter to the specified accuracy (see 9.1). Care should be taken to avoid overheating or cold working the surface.

**2 Verification of Testing Machine**

2 **Verification Methods**—The hardness testing machine shall be verified in accordance with one of the two acceptable methods of verifying Brinell hardness testing machines as given in Test Method B.

3 **Test Force Range**—When direct verification is used, the Brinell hardness testing machine is acceptable for use over a test force range within which the error in test force does not exceed 61 %. When indirect verification is used, the Brinell hardness machine is acceptable for use over a test force range within which the mean hardness value obtained is within 63 % of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

3.1.2.1 **Discussion**—The tungsten carbide ball may be used for materials with a Brinell hardness not exceeding 650.

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

3.1.4 **verification**—Checking or testing to assure conformance with the specification.

**4. Significance and Use**

4.1 The Brinell hardness test is an empirical indentation hardness test. Brinell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, or other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials. Brinell hardness testing at the specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product. Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and they have been used extensively in industry for this purpose.

**TEST METHOD AND GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR BRINELL HARDNESS TESTS**

**6.1.3.5 Apparatus**

**Testing Machine**—Equipment for Brinell hardness testing usually consists of a testing machine which supports the test specimen and applies an indenting force to a ball in contact with the specimen. The design of the testing machines shall be such that no rocking or lateral movement of the indenter or specimen occurs while the force is being applied. The design of the testing machine shall ensure that the force to the indenter shall be applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system over-shoot, etc. See equipment manufacturer's instruction manual for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedure.

**Brinell Balls:**

5.2.1 The standard ball for Brinell hardness testing shall be 10.000 mm in diameter with a deviation from this value of not more than 0.005 mm in any diameter. The ball shall be polished and free of surface defects. Smaller balls having the diameters



E 10 ± 01<sup>e1</sup>

TABLE 2 Brinell Hardness Numbers<sup>A</sup>  
(Ball 10 mm in Diameter, Applied Forces of 500, 1500, and 3000 kgf)

NOTE 1—The values given in this table for Brinell hardness numbers are merely solutions of the equation given in the definition in 3.1.1, and include values for indentation diameters outside the ranges recommended in 8.1. These values are indicated by italics.

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force
2.00	158	473	945	2.60	92.6	278	555	3.20	60.5	182	363	3.80	42.4	127	255
2.01	156	468	936	2.61	91.8	276	551	3.21	60.1	180	361	3.81	42.2	127	253
2.02	154	463	926	2.62	91.1	273	547	3.22	59.8	179	359	3.82	42.0	126	252
2.03	153	459	917	2.63	90.4	271	543	3.23	59.4	178	356	3.83	41.7	125	250
2.04	151	454	908	2.64	89.7	269	538	3.24	59.0	177	354	3.84	41.5	125	249
2.05	150	450	899	2.65	89.0	267	534	3.25	58.6	176	352	3.85	41.3	124	248
2.06	148	445	890	2.66	88.4	265	530	3.26	58.3	175	350	3.86	41.1	123	246
2.07	147	441	882	2.67	87.7	263	526	3.27	57.9	174	347	3.87	40.9	123	245
2.08	146	437	873	2.68	87.0	261	522	3.28	57.5	173	345	3.88	40.6	122	244
2.09	144	432	865	2.69	86.4	259	518	3.29	57.2	172	343	3.89	40.4	121	242
2.10	143	428	856	2.70	85.7	257	514	3.30	56.8	170	341	3.90	40.2	121	241
2.11	141	424	848	2.71	85.1	255	510	3.31	56.5	169	339	3.91	40.0	120	240
2.12	140	420	840	2.72	84.4	253	507	3.32	56.1	168	337	3.92	39.8	119	239
2.13	139	416	832	2.73	83.8	251	503	3.33	55.8	167	335	3.93	39.6	119	237
2.14	137	412	824	2.74	83.2	250	499	3.34	55.4	166	333	3.94	39.4	118	236
2.15	136	408	817	2.75	82.6	248	495	3.35	55.1	165	331	3.95	39.1	117	235
2.16	135	404	809	2.76	81.9	246	492	3.36	54.8	164	329	3.96	38.9	117	234
2.17	134	401	802	2.77	81.3	244	488	3.37	54.4	163	326	3.97	38.7	116	232
2.18	132	397	794	2.78	80.8	242	485	3.38	54.1	162	325	3.98	38.5	116	231
2.19	131	393	787	2.79	80.2	240	481	3.39	53.8	161	323	3.99	38.3	115	230
2.20	130	390	780	2.80	79.6	239	477	3.40	53.4	160	321	4.00	38.1	114	229
2.21	129	386	772	2.81	79.0	237	474	3.41	53.1	159	319	4.01	37.9	114	228
2.22	128	383	765	2.82	78.4	235	471	3.42	52.8	158	317	4.02	37.7	113	226
2.23	126	379	758	2.83	77.9	234	467	3.43	52.5	157	315	4.03	37.5	113	225
2.24	125	376	752	2.84	77.3	232	464	3.44	52.2	156	313	4.04	37.3	112	224
2.25	124	372	745	2.85	76.8	230	461	3.45	51.8	155	311	4.05	37.1	111	223
2.26	123	369	738	2.86	76.2	229	457	3.46	51.5	155	309	4.06	37.0	111	222
2.27	122	366	732	2.87	75.7	227	454	3.47	51.2	154	307	4.07	36.8	110	221
2.28	121	363	725	2.88	75.1	225	451	3.48	50.9	153	306	4.08	36.6	110	219
2.29	120	359	719	2.89	74.6	224	448	3.49	50.6	152	304	4.09	36.4	109	218
2.30	119	356	712	2.90	74.1	222	444	3.50	50.3	151	302	4.10	36.2	109	217
2.31	118	353	706	2.91	73.6	221	441	3.51	50.0	150	300	4.11	36.0	108	216
2.32	117	350	700	2.92	73.0	219	438	3.52	49.7	149	298	4.12	35.8	108	215
2.33	116	347	694	2.93	72.5	218	435	3.53	49.4	148	297	4.13	35.7	107	214
2.34	115	344	688	2.94	72.0	216	432	3.54	49.2	147	295	4.14	35.5	106	213
2.35	114	341	682	2.95	71.5	215	429	3.55	48.9	147	293	4.15	35.3	106	212
2.36	113	338	676	2.96	71.0	213	426	3.56	48.6	146	292	4.16	35.1	105	211
2.37	112	335	670	2.97	70.5	212	423	3.57	48.3	145	290	4.17	34.9	105	210
2.38	111	332	665	2.98	70.1	210	420	3.58	48.0	144	288	4.18	34.8	104	209
2.39	110	330	659	2.99	69.6	209	417	3.59	47.7	143	286	4.19	34.6	104	208
2.40	109	327	653	3.00	69.1	207	415	3.60	47.5	142	285	4.20	34.4	103	207
2.41	108	324	648	3.01	68.6	206	412	3.61	47.2	142	283	4.21	34.2	103	205
2.42	107	322	643	3.02	68.2	205	409	3.62	46.9	141	282	4.22	34.1	102	204
2.43	106	319	637	3.03	67.7	203	406	3.63	46.7	140	280	4.23	33.9	102	203
2.44	105	316	632	3.04	67.3	202	404	3.64	46.4	139	278	4.24	33.7	101	202
2.45	104	313	627	3.05	66.8	200	401	3.65	46.1	138	277	4.25	33.6	101	201
2.46	104	311	621	3.06	66.4	199	398	3.66	45.9	138	275	4.26	33.4	100	200
2.47	103	308	616	3.07	65.9	198	395	3.67	45.6	137	274	4.27	33.2	99.7	199
2.48	102	306	611	3.08	65.5	196	393	3.68	45.4	136	272	4.28	33.1	99.2	198
2.49	101	303	606	3.09	65.0	195	390	3.69	45.1	135	271	4.29	32.9	98.8	198
2.50	100	301	601	3.10	64.6	194	388	3.70	44.9	135	269	4.30	32.8	98.3	197
2.51	99.4	298	597	3.11	64.2	193	385	3.71	44.6	134	268	4.31	32.6	97.8	196
2.52	98.6	296	592	3.12	63.8	191	383	3.72	44.4	133	266	4.32	32.4	97.3	195
2.53	97.8	294	587	3.13	63.3	190	380	3.73	44.1	132	265	4.33	32.3	96.8	194
2.54	97.1	291	582	3.14	62.9	189	378	3.74	43.9	132	263	4.34	32.1	96.4	193
2.55	96.3	289	578	3.15	62.5	188	375	3.75	43.6	131	262	4.35	32.0	95.9	192
2.56	95.5	287	573	3.16	62.1	186	373	3.76	43.4	130	260	4.36	31.8	95.5	191
2.57	94.8	284	569	3.17	61.7	185	370	3.77	43.1	129	259	4.37	31.7	95.0	190
2.58	94.0	282	564	3.18	61.3	184	368	3.78	42.9	129	257	4.38	31.5	94.5	189
2.59	93.3	280	560	3.19	60.9	183	366	3.79	42.7	128	256	4.39	31.4	94.1	188

8. Procedure

8.1 Magnitude of Test Force—Typically, the force in the standard Brinell test shall be 29.42 kN (3000 kgf), 14.7 kN

(1500 kgf), or 4.90 kN (500 kgf). It is recommended that the diameter of the indentation be between 24 and 60 % of the ball diameter. A lower limit in indentation diameter is necessary



# E 10 ± 01<sup>e1</sup>

## TABLE 2 Continued

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force
4.40	31.2	93.6	187	5.05	23.3	69.8	140	5.70	17.8	53.5	107	6.35	14.0	42.0	84.0
4.41	31.1	93.2	186	5.06	23.2	69.5	139	5.71	17.8	53.3	107	6.36	13.9	41.8	83.7
4.42	30.9	92.7	185	5.07	23.1	69.2	138	5.72	17.7	53.1	106	6.37	13.9	41.7	83.4
4.43	30.8	92.3	185	5.08	23.0	68.9	138	5.73	17.6	52.9	106	6.38	13.8	41.5	83.1
4.44	30.6	91.8	184	5.09	22.9	68.6	137	5.74	17.6	52.7	105	6.39	13.8	41.4	82.8
4.45	30.5	91.4	183	5.10	22.8	68.3	137	5.75	17.5	52.5	105	6.40	13.7	41.2	82.5
4.46	30.3	91.0	182	5.11	22.7	68.0	136	5.76	17.4	52.3	105	6.41	13.7	41.1	82.2
4.47	30.2	90.5	181	5.12	22.6	67.7	135	5.77	17.4	52.1	104	6.42	13.6	40.9	81.9
4.48	30.0	90.1	180	5.13	22.5	67.4	135	5.78	17.3	51.9	104	6.43	13.6	40.8	81.6
4.49	29.9	89.7	179	5.14	22.4	67.1	134	5.79	17.2	51.7	103	6.44	13.5	40.6	81.3
4.50	29.8	89.3	179	5.15	22.3	66.9	134	5.80	17.2	51.5	103	6.45	13.5	40.5	81.0
4.51	29.6	88.8	178	5.16	22.2	66.6	133	5.81	17.1	51.3	103	6.46	13.4	40.4	80.7
4.52	29.5	88.4	177	5.17	22.1	66.3	133	5.82	17.0	51.1	102	6.47	13.4	40.2	80.4
4.53	29.3	88.0	176	5.18	22.0	66.0	132	5.83	17.0	50.9	102	6.48	13.4	40.1	80.1
4.54	29.2	87.6	175	5.19	21.9	65.8	132	5.84	16.9	50.7	101	6.49	13.3	39.9	79.8
4.55	29.1	87.2	174	5.20	21.8	65.5	131	5.85	16.8	50.5	101	6.50	13.3	39.8	79.6
4.56	28.9	86.8	174	5.21	21.7	65.2	130	5.86	16.8	50.3	101	6.51	13.2	39.6	79.3
4.57	28.8	86.4	173	5.22	21.6	64.9	130	5.87	16.7	50.2	100	6.52	13.2	39.5	79.0
4.58	28.7	86.0	172	5.23	21.6	64.7	129	5.88	16.7	50.0	99.9	6.53	13.1	39.4	78.7
4.59	28.5	85.6	171	5.24	21.5	64.4	129	5.89	16.6	49.8	99.5	6.54	13.1	39.2	78.4
4.60	28.4	85.4	170	5.25	21.4	64.1	128	5.90	16.5	49.6	99.2	6.55	13.0	39.1	78.2
4.61	28.3	84.8	170	5.26	21.3	63.9	128	5.91	16.5	49.4	98.8	6.56	13.0	38.9	78.0
4.62	28.1	84.4	169	5.27	21.2	63.6	127	5.92	16.4	49.2	98.4	6.57	12.9	38.8	77.6
4.63	28.0	84.0	168	5.28	21.1	63.3	127	5.93	16.3	49.0	98.0	6.58	12.9	38.7	77.3
4.64	27.9	83.6	167	5.29	21.0	63.1	126	5.94	16.3	48.8	97.7	6.59	12.8	38.5	77.1
4.65	27.8	83.3	167	5.30	20.9	62.8	126	5.95	16.2	48.7	97.3	6.60	12.8	38.4	76.8
4.66	27.6	82.9	166	5.31	20.9	62.6	125	5.96	16.2	48.5	96.9	6.61	12.8	38.3	76.5
4.67	27.5	82.5	165	5.32	20.8	62.3	125	5.97	16.1	48.3	96.6	6.62	12.7	38.1	76.2
4.68	27.4	82.1	164	5.33	20.7	62.1	124	5.98	16.0	48.1	96.2	6.63	12.7	38.0	76.0
4.69	27.3	81.8	164	5.34	20.6	61.8	124	5.99	16.0	47.9	95.9	6.64	12.6	37.9	75.7
4.70	27.1	81.4	163	5.35	20.5	61.5	123	6.00	15.9	47.7	95.5	6.65	12.6	37.7	75.4
4.71	27.0	81.0	162	5.36	20.4	61.3	123	6.01	15.9	47.6	95.1	6.66	12.5	37.6	75.2
4.72	26.9	80.7	161	5.37	20.3	61.0	122	6.02	15.8	47.4	94.8	6.67	12.5	37.5	74.9
4.73	26.8	80.3	161	5.38	20.3	60.8	122	6.03	15.7	47.2	94.4	6.68	12.4	37.3	74.7
4.74	26.6	79.9	160	5.39	20.2	60.6	121	6.04	15.7	47.0	94.1	6.69	12.4	37.2	74.4
4.75	26.5	79.6	159	5.40	20.1	60.3	121	6.05	15.6	46.8	93.7	6.70	12.4	37.1	74.1
4.76	26.4	79.2	158	5.41	20.0	60.1	120	6.06	15.6	46.7	93.4	6.71	12.3	36.9	73.9
4.77	26.3	78.9	158	5.42	19.9	59.8	120	6.07	15.5	46.5	93.0	6.72	12.3	36.8	73.6
4.78	26.2	78.5	157	5.43	19.9	59.6	119	6.08	15.4	46.3	92.7	6.73	12.2	36.7	73.4
4.79	26.1	78.2	156	5.44	19.8	59.3	119	6.09	15.4	46.2	92.3	6.74	12.2	36.6	73.1
4.80	25.9	77.8	156	5.45	19.7	59.1	118	6.10	15.3	46.0	92.0	6.75	12.1	36.4	72.8
4.81	25.8	77.5	155	5.46	19.6	58.9	118	6.11	15.3	45.8	91.7	6.76	12.1	36.3	72.6
4.82	25.7	77.1	154	5.47	19.5	58.6	117	6.12	15.2	45.7	91.3	6.77	12.1	36.2	72.3
4.83	25.6	76.8	154	5.48	19.5	58.4	117	6.13	15.2	45.5	91.0	6.78	12.0	36.0	72.1
4.84	25.5	76.4	153	5.49	19.4	58.2	116	6.14	15.1	45.3	90.6	6.79	12.0	35.9	71.8
4.85	25.4	76.1	152	5.50	19.3	57.9	116	6.15	15.1	45.2	90.3	6.80	11.9	35.8	71.6
4.86	25.3	75.8	152	5.51	19.2	57.7	115	6.16	15.0	45.0	90.0	6.81	11.9	35.7	71.3
4.87	25.1	75.4	151	5.52	19.2	57.5	115	6.17	14.9	44.8	89.6	6.82	11.8	35.5	71.1
4.88	25.0	75.1	150	5.53	19.1	57.2	114	6.18	14.9	44.7	89.3	6.83	11.8	35.4	70.8
4.89	24.9	74.8	150	5.54	19.0	57.0	114	6.19	14.8	44.5	89.0	6.84	11.8	35.3	70.6
4.90	24.8	74.4	149	5.55	18.9	56.8	114	6.20	14.7	44.3	88.7	6.86	11.7	35.2	70.4
4.91	24.7	74.1	148	5.56	18.9	56.6	113	6.21	14.7	44.2	88.3	6.86	11.7	35.1	70.1
4.92	24.6	73.8	148	5.57	18.8	56.3	113	6.22	14.7	44.0	88.0	6.87	11.6	34.9	69.9
4.93	24.5	73.5	147	5.58	18.7	56.1	112	6.23	14.6	43.8	87.7	6.88	11.6	34.8	69.6
4.94	24.4	73.2	146	5.59	18.6	55.9	112	6.24	14.6	43.7	87.4	6.89	11.6	34.7	69.4
4.95	24.3	72.8	146	5.60	18.6	55.7	111	6.25	14.5	43.5	87.1	6.90	11.5	34.6	69.2
4.96	24.2	72.5	145	5.61	18.5	55.5	111	6.26	14.5	43.4	86.7	6.91	11.5	34.5	68.9
4.97	24.1	72.2	144	5.62	18.4	55.2	110	6.27	14.4	43.2	86.4	6.92	11.4	34.3	68.7
4.98	24.0	71.9	144	5.63	18.3	55.0	110	6.28	14.4	43.1	86.1	6.93	11.4	34.2	68.4
4.99	23.9	71.6	143	5.64	18.3	54.8	110	6.29	14.3	42.9	85.8	6.94	11.4	34.1	68.2
5.00	23.8	71.3	143	5.65	18.2	54.6	109	6.30	14.2	42.7	85.5	6.95	11.3	34.0	68.0
5.01	23.7	71.0	142	5.66	18.1	54.4	109	6.31	14.2	42.6	85.2	6.96	11.3	33.9	67.7
5.02	23.6	70.7	141	5.67	18.1	54.2	108	6.32	14.1	42.4	84.9	6.97	11.3	33.8	67.5
5.03	23.5	70.4	141	5.68	18.0	54.0	108	6.33	14.1	42.3	84.6	6.98	11.2	33.6	67.3
5.04	23.4	70.1	140	5.69	17.9	53.7	107	6.34	14.0	42.1	84.3	6.99	11.2	33.5	67.0

<sup>a</sup> Prepared by the Engineering Mechanics Section, National Bureau of Standards. because of the risk in damaging the ball and difficulty measuring the indentation. The upper limit is necessary because of a

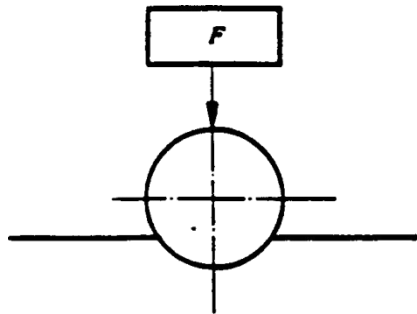
reduction in sensitivity as the diameter of the indentation approaches the ball diameter. The thickness and spacing





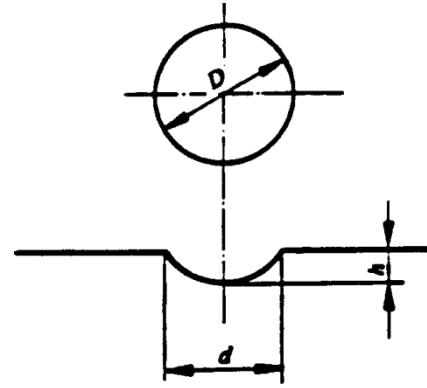
**TABLE 3 Test Conditions**

Hardness Symbol	Ball Diameter $D$ , mm	$0.102 F$ $D^2$	Test Force $F$ Nominal Value
HBW 10/3000	10	30	29.42 kN - (3000 kgf)
HBW 10/1500	10	15	14.71 kN - (1500 kgf)
HBW 10/1000	10	10	9.807 kN - (1000 kgf)
HBW 10/500	10	5	4.903 kN - (500 kgf)
HBW 10/250	10	2.5	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 10/125	10	1.25	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 10/100	10	1	980.7 N - (100 kgf)
HBW 5/750	5	30	7.355 kN - (750 kgf)
HBW 5/250	5	10	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 5/125	5	5	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 5/25	5	1	245.2 N - (25 kgf)
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1.839 kN - (187.5 kgf)
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2 N - (15.625 kgf)
HBW 2.5/7.8125	2.5	1.25	76.61 N - (7.8125 kgf)
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29 N - (6.25 kgf)
HBW 2/120	2	30	1.177 kN - (120 kgf)
HBW 2/40	2	10	392.3 N - (40 kgf)
HBW 2/20	2	5	196.1 N - (20 kgf)
HBW 2/10	2	2.5	98.07 N - (10 kgf)
HBW 2/5	2	1.25	49.03 N - (5 kgf)
HBW 2/4	2	1	39.23 N - (4 kgf)
HBW 1/30	1	30	294.2 N - (30 kgf)
HBW 1/10	1	10	98.07 N - (10 kgf)
HBW 1/5	1	5	49.03 N - (5 kgf)
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52 N - (2.5 kgf)
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26 N - (1.25 kgf)
HBW 1/1	1	1	9.807 N - (1 kgf)



**FIG. 1 Principle of Test**

requirements of 6.1.1, 6.1.2, and 8.3 may determine the maximum permissible diameter of indentation for a speci@c test. Table 6 gives standard test forces and approximate Brinell hardness numbers for the above range of indentation diameters. It is not mandatory that the Brinell test conform to these hardness ranges, but it should be realized that different Brinell hardness numbers may be obtained for a given material by using different forces on a 10-mm diameter ball. For the purpose of obtaining a continuous scale of values it may be desirable, however, to use a single force to cover the complete



**FIG. 2 Principle of Test**

**TABLE 4 Tolerances for Brinell Hardness Balls**

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	60.005
5	60.004
2.5	60.003
2	60.003
1	60.003

**TABLE 5 Minimum Thickness Requirements for Brinell Hardness Tests**

Minimum Thickness of Specimen		Minimum Hardness for Which the Brinell Test May Safely Be Made		
in.	mm	3000-kgf Force	1500-kgf Force	500-kgf Force
<sup>1</sup> / <sub>a</sub> 16	1.6	602	301	100
<sup>1</sup> / <sub>a</sub> 8	3.2	301	150	50
<sup>3</sup> / <sub>a</sub> 16	4.8	201	100	33
<sup>1</sup> / <sub>a</sub> 4	6.4	150	75	25
<sup>5</sup> / <sub>a</sub> 16	8.0	120	60	20
<sup>3</sup> / <sub>a</sub> 8	9.6	100	50	17

**TABLE 6 Standard Test Forces**

Ball Diameter, mm	Force	Recommended Range, HBW
10	29.42 kN (3000 kgf)	96 to 600
10	14.7 kN (1500 kgf)	48 to 300
10	4.90 kN (500 kgf)	16 to 100

**TABLE 7 Hardness Ranges Used By Standard Test Block Method**

100 to 200 HBW
300 to 400 HBW
500 to 600 HBW

range of hardness for a given class of materials. For softer metals, forces of 2.45 kN (250 kgf), 1.23 kN (125 kgf), or 0.981 kN (100 kgf) are sometimes used. The force used shall be speci@cally stated in the test report (see 11.1.2).

8.1.1 For testing thin or small specimens, a ball less than 10 mm in diameter is sometimes used. Such tests, which are not to be regarded as standard tests, will approximate the standard tests more closely if the relation between the applied force,  $F$ , measured in N, and the diameter of the ball,  $D$ , measured in mm is the same as in the standard tests,

where:

$$0.102F/D^2 = 30 \text{ for } 29.42 \text{ kN (3000 kgf) force and 10-mm ball,}$$

$$0.102F/D^2 = 15 \text{ for } 14.72 \text{ kN (1500 kgf) force and 10-mm ball, and}$$

$$0.102F/D^2 = 5 \text{ for } 4.90 \text{ kN (500 kgf) force and 10-mm ball.}$$

8.1.1.1 *Example*—A 1.23-kN (125-kgf) test force on a 5-mm diameter ball would approximate a standard 4.90-kN (500-kgf) test force on a 10-mm diameter ball.

8.1.2 Tests for soft metals often are made with the following force-diameter ratios:

$$\begin{aligned} 0.102F/D^2 &= 2.5 \\ 0.102F/D^2 &= 5 \text{ 1.25} \\ 0.102F/D^2 &= 5 \text{ 1.0} \end{aligned} \quad (2)$$

8.1.3 When balls smaller than 10 mm in diameter are used, both the test force and ball size shall be specifically stated in the test report (see 3.1.1, 3.1.1.1, and 11.1.2).

8.2 *Radius of Curvature*—When indentations are made on a curved surface, the minimum radius of curvature of the surface shall be not less than  $2^{1/2}$  times the diameter of the ball. Indentations made on curved surfaces may be slightly elliptical rather than circular in shape. The measurements of the indentation shall be taken as the mean of the major and minor axes.

8.3 *Spacing of Indentations*—The distance of the center of the indentation from the edge of the specimen or edge of another indentation shall be at least two and one half times the diameter of the indentation.

8.4 *Application of Test Force*—Apply the force to the specimen uniformly taking precautions to prevent a momentary overload of the system. Apply the full test force for 10 to 15 s.

8.4.1 If a duration of test force application other than 10 to 15 s is used, results of the test shall be reported using the nomenclature outlined in 3.1.1.2 and 11.1.2.

8.5 *Alignment*—The angle between the indenter force line and the surface of the specimen should be  $90 \pm 2^\circ$ . (see 9.1)

## 9. Measurement of Indentation

9.1 *Diameter*—In the Brinell hardness test, two diameters of the indentation at right angles to each other shall be measured and their mean value used as a basis for calculation of the Brinell hardness number for flat specimens. If the largest and smallest diameters for two readings of the same indentation differ by 0.1 mm or more, refer to the material specifications for further guidance. For routine tests and for tests to determine compliance with a material or product specification, the diameter of the indentation shall be estimated to 0.05 mm (0.0020 in.).

NOTE 4—These measurements are usually made with a low-magnification portable measuring device (approximately 203) having a



fixed scale in the eyepiece. If a more accurate determination is needed, as in referee or standardization tests, a laboratory comparator such as a micrometer measuring device is required.

## 10. Conversion to Other Hardness Scales or Tensile Strength Values

There is no general method for accurately converting Brinell hardness numbers to other hardness scales or tensile strength values. Such conversions are, at best, approximations and, therefore, should be avoided except for special cases where a reliable basis for the approximate conversion has been obtained by comparison tests.

NOTE 5—Hardness Conversion Tables E 140 for Metals give approximate hardness conversion values for specific materials such as steel, austenitic stainless steel, nickel and high-nickel alloys, and cartridge brass.

## 11. Report

11.1 Whenever a Brinell hardness number is used, provide the following information:

11.1.1 The Brinell hardness number, which shall be reported rounded to three significant digits in accordance with rounding method in Practice E 29 (for example, 125 HBW, 99.2 HBW).

11.1.2 The test conditions when the Brinell hardness number is determined from forces other than 29.42 kN (3000 kgf), ball diameters other than 10 mm, and test force applications other than 10 to 15 s (see 3.1.1 and 8.4).

## 12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—An interlaboratory comparison program is now in progress which, when completed, will be the basis of a statement on precision.

12.2 *Bias*—There is no basis for defining the bias for this test method.

## TEST METHOD B—VERIFICATION OF BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

### 13. Scope

Test Method B covers two procedures for the verification of Brinell hardness testing machines. These are as follows:

*Direct Verification*—Separate verification of force application, indenter, and the measuring device for measuring the diameter of the indentation.

*Indirect Verification*—Verification by the standardized test block method.

New or rebuilt machines shall be initially checked by the direct verification method (see 13.1.1) before being placed in service.

Machines used for routine testing may be checked by either verification method.

## 14. General Requirements

14.1 Before a Brinell hardness testing machine is verified, the machine shall be examined to ensure that:

14.1.1 The machine is set up properly.

14.1.2 The ball holder, with a new ball whose nominal diameter has been checked (see 15.1.2), is mounted firmly in the plunger.



E 10 ± 01<sup>e1</sup>

14.1.3 The force will be applied and removed without shock or vibration.

14.2 If the measuring device is integral with the machine, the machine shall be examined to ensure the following:

12.3 The change from test force application to measuring does not influence the readings.

12.4 The method of illumination does not affect the readings.

12.5 The center of the indentation is in the center of the field of view.

**15. Verification**

15.1 *Direct Verification*—Separate verification of force application, indenter, and measuring device:

15.1.1 *Force Application*—Brinell hardness testing machines shall be verified at the test force(s) at which it is used. The test forces will be checked periodically with a force measuring device traceable to national standards (in the United States, National Institute of Standards and Technology) in the manner described in Practices E 4. A Brinell hardness testing machine is acceptable for use when the test force error does not exceed 61 %.

15.1.2 *Indenter*—The indenter to be verified shall be a new ball selected at random from a lot meeting the hardness requirements specified in 5.2. The diameter of each ball shall be verified at not less than three positions and the mean of these readings shall not differ from the nominal diameter by more than the tolerance specified in Table 4.

15.1.3 *Measuring Device*—The measuring device used to determine the diameter of the indentation shall be verified at 9ve intervals over the working range by the use of an accurate scale such as a stage micrometer. The adjustment of the device shall be such that, throughout the range covered, the difference between the scale divisions of the device and of the calibrating scale does not exceed 0.01 mm (0.0004 in.).

15.1.4 The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.2 *Indirect Verification*—Verification by standardized test block method.

15.1.5 A Brinell hardness testing machine also may be checked by making a series of at least 9ve indentations on standardized hardness test blocks (Test Method C).

15.1.6 If the machine is to be used at conditions other than 10/29.42 kN (3000 kgf)/15, the machine also shall be verified at those other conditions.

15.1.7 The testing machine shall be verified for each test force and for each size of ball used. For each test force, standardized blocks within the hardness ranges given in Table 7, shall be used.

NOTE 6—When the hardness test in question makes it impossible to reach the higher hardness range defined in Table 7 (for 0.102/F/D<sup>2</sup> = 5 or 10), the verification may be carried out with two blocks from the lower hardness range.

15.2.3.1 Verification shall be carried out using a tungsten carbide ball and this verification will be valid for hardnesses # 650 HBW.

15.2.4 *Repeatability*—For each standardized block, let  $d_1, d_2, \dots, d_n$  be the mean values of the measured diameter of the indentations, arranged in increasing order of magnitude. The repeatability of the testing machine under the particular verification conditions is determined by the following quantity:

$$d_n - 2d_1 \quad (3)$$

The repeatability of the testing machine verified is not considered satisfactory unless it satisfies the conditions given in Table 8.

15.2.5 *Error*—The error of the testing machine under the particular verification conditions is characterized by the following quantity:

$$\frac{\bar{A}}{H} - 2H \quad (4)$$

where:

$$\bar{A} = H - H$$

$$\bar{A} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (5)$$

$H_1, H_2, \dots, H_n$  = the hardness values corresponding to  $d_1, d_2, \dots, d_n$ , and

$H$  = specified hardness of the standardized block.

The Brinell hardness testing machine shall be considered verified if the mean hardness differs by no more than 3 % from the hardness value of the standardized hardness test block.

The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.3 *Verification Report*—The test report shall include the following information:

- 15.3.1 Reference to this ASTM test method,
- 15.3.2 Method of verification (direct or indirect),
- 15.3.3 Identification of the hardness testing machine,
- 15.3.4 Means of verification (test blocks, elastic proving devices, etc.),
- 15.3.5 Diameter of indenter ball and test force,
- 15.3.6 The result obtained,
- 15.3.7 Date of verification and reference to the calibration institution, and
- 15.3.8 Identity of person performing the verification.

**16. Procedure for Periodic Checks by the User**

16.1 Verification by the standardized test block method (15.2) is too lengthy for daily use. Instead, the following is recommended:

**TABLE 8 Repeatability of Testing Machine**

Hardness of Standardized Block HBW	Repeatability of the Testing Machine, max	HBW	
		H	H <sub>1</sub> ±H <sub>5</sub> , max
<225	0.04 d <sub>A</sub>	100	9
		200	17
		300	12
		400	17
		500	20
>225	0.02 d <sub>A</sub>	600	24



16.1.1 Make at least one routine check in accordance with 7.11.3.3 each day that the testing machine is used.

Consult the machine manufacturer's start-up procedures. Select the force, indenter, and measuring device that will be used for the routine testing. Make at least two indentations on a standardized hardness test block. If the mean of these two values falls within the tolerances required (see 15.2.6), the hardness machine may be regarded as producing satisfactory hardness results. If not, the hardness machine shall be verified as described in 15.2.

## TEST METHOD CALIBRATION OF STANDARDIZED HARDNESS TEST BLOCKS FOR BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

### 17. Scope

17.1 This test method covers the calibration of standardized hardness test blocks for the verification of Brinell hardness testing machines as described in Test Method B.

### 18. Manufacture

18.1 Each metal block to be calibrated shall be not less than 1 mm (<sup>5</sup>/<sub>32</sub> in.) in thickness for 10-mm balls, 12 mm (<sup>1</sup>/<sub>2</sub> in.) thick for 5-mm balls, and 6 mm (<sup>1</sup>/<sub>4</sub> in.) thick for smaller balls.

18.1.1 The maximum surface area of the test block shall be 9. cm<sup>2</sup> (6 in.<sup>2</sup>) for balls less than 5 mm in diameter, and 150 cm<sup>2</sup> (24 in.<sup>2</sup>) for balls equal to or greater than 5 mm in diameter.

1 Each block shall be specially prepared and heat treated to give the necessary homogeneity and stability of structure.

2 The maximum error in parallelism shall not exceed 0.0008 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter greater than or equal to 5 mm and 0.0002 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter less than 5 mm. The maximum deviation in flatness of the block surfaces shall not exceed 0.02 mm (0.0008 in.) and 0.005 mm (0.0002 in.) for balls having diameters equal to or greater than 5 mm and less than 5 mm, respectively.

3 The supporting surface of the test block shall have a ground finish and shall have a mean surface roughness height rating that shall not exceed 0.0008-mm (32- $\mu$ in.) centerline average.

4 The test surface shall be free of scratches which would interfere with measurements of the diameters of the indentation.

18.5.1 The mean surface roughness height of the test surface rating shall not exceed 0.0003-mm (12- $\mu$ in.) center line average for the standard 10-mm ball. For smaller balls a maximum mean test surface roughness height rating of 0.00015 mm (6  $\mu$ in.) is recommended.

5 To permit checking that no material is subsequently removed from the standardized block, its thickness at the time of standardization shall be marked on it to the nearest 0.1 mm (0.004 in.), or an identifying mark shall be made on the test surface. (See Section 24.)

6 Each block, if of steel, shall be demagnetized by the manufacturer and maintained demagnetized by the user.

7 Each block must be uniquely serialized by the manufacturer for traceability.

### 7.14.7 Standardizing Procedure

The standardized blocks shall be calibrated on a Brinell hardness testing machine which was verified in accordance with the requirements of 15.1.

The mechanism that controls the application of the force shall ensure that the speed of approach immediately before the ball touches the specimen and the speed of penetration does not exceed 1 mm/s (0.040 in./s).

The test force shall be within 0.25 % of the nominal force. Use of a Practice E 74 Class AA device will be required to verify the force.

The test force shall be applied for 10 to 15 s.

The standardized blocks shall be calibrated at a temperature of 23 ± 6 °C, using the general procedure described in Test Method A.

### 7.14.8 Indenter

20.1 A ball conforming to the requirements of 15.1.2 shall be used for calibrating standardized hardness test blocks.

### 21. Number of Indentations

21.1 At least eight uniformly distributed indentations shall be made on the test surface of the block.

### 22. Measurement of the Diameters of the Indentation

12.7 The illuminating system of the measuring device shall be adjusted to give uniform intensity over the field of view and maximum contrast between the indentations and the undisturbed surface of the block.

12.8 The measuring device shall be graduated to read 0.002 mm (0.00008 in.) for indentations made with balls of 5-mm diameter or larger and 0.001 mm (0.00004 in.) for indentations made with balls of smaller diameter.

12.9 The measuring device shall be checked by a stage micrometer, or by other suitable means to ensure that the difference between readings corresponding to any two divisions of the instrument is within 60.001 mm (0.00004 in.) for balls of less than 5-mm diameter and within 60.002 mm (0.00008 in.) for balls of larger diameter.

### 16. Uniformity of Hardness

13.1 If  $d_1, d_2, \dots, d_n$  are the mean values of the measured diameters as determined by one observer and arranged in increasing order of magnitude, the range of the hardness readings, measured from the last block, is defined as  $d_n - d_1$  where  $n =$  at least eight indentations.

13.2 The range of hardness readings shall be equal to or less than 2 % of the mean diameter for Brinell hardness numbers equal to or less than 225 and 1 % for Brinell hardness number values greater than 225.

### 17. Marking

14.2 Each standardized block shall be marked with the following:

24.1.1 The arithmetic mean of the hardness values found in the standardizing test and the type of ball used.

24.1.2 The name or mark of the supplier.

24.1.3 The serial number or other unique identification of the block.



6 Name or mark of the calibrating agency if different from supplier.

7 The thickness of the block or an official mark on the test surface (see 18.6).

8 The year of calibration. It is sufficient that the year of calibration be incorporated into the serial number of the block.

24.2 All of the markings except the official mark should be placed outside of the test area or on the side of the block. When the markings are on the side of the block, the markings shall be upright when the test surface is the upper face.

24.3 Each block shall be supplied with a certificate showing the results of the individual standardizing tests and the arithmetic mean of those tests, including the following:

- K Date of standardization,
- L Serial number of block, and
- M Name of manufacturer or mark of supplier.

**25. Keywords**

25.1 Brinell hardness; metallic

**SUMMARY OF CHANGES**

Committee E28 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue E 10-00a that may impact the use of this standard. The numbering system used in this Summary reflects current numbering of this edition of E 10.

NOTE 7D Most of the changes listed below resulted from the new requirement for using only tungsten-carbide indenter balls and disallowing the use of steel indenter balls (see 5.2.2.2)

- (1) 2.1 ± E 74 title revised.
- (2) 3 ± definitions alphabetized and new numbering structure used.
- (3) 3.1 ± new title added.
- (4) 3.1.1 (formerly 3.2) - revised
- (5) Equation 1 ± editorial correction
- (6) 3.1.1.1 (formerly Note 2) - revised
- (7) 3.1.1.2 (formerly Note 3 ) - revised
- (8) 3.1.1.3 (formerly part of Note 3)
- (9) 3.1.1.4 (formerly part of Note 3)
- (10) 3.1.2 (formerly 3.2) - revised
- (11) 3.1.2.1 (formerly Discussion 1) - revised
- (12) Former Discussion 2 ± deleted
- (13) Former Discussion 3 ± deleted
- (14) Table 1 ± revised and editorially corrected
- (15) 3.1.3 (formerly 3.4)

- (16) 3.1.4 (formerly 3.3)
- (17) 5.2.2 ± replaced
- (18) Former Note 5 ± deleted
- (19) 5.2.2.2 ± added
- (20) 5.2.3 ± revised
- (21) Table 2 ± revised
- (22) Table 3 ± revised
- (23) Table 5 ± revised
- (24) Table 6 (formerly Table 7) - revised
- (25) Table 7 (formerly Table 6) - revised
- (26) Former Table 8 - deleted
- (27) 8.5-revised
- (28) 11.1.1 ± revised
- (29) 15.2.3 ± revised
- (30) 15.2.3.1 ± revised
- (31) 15.3.5- revised
- (32) Table 9 ± renumbered as Table 8 and revised
- (33) Summary of Changes added.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

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

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



**Designation: E 415 ± 99a**

**Standard Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel<sup>1</sup>**

This standard is issued under the ®xed designation E 415; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

**2. Scope**

1.1 This test method covers the simultaneous determination of 20 alloying and residual elements in carbon and low-alloy steels in the concentration ranges shown (Note 1).

Element	Concentration Range, %	
	Applicable Range, % <sup>A</sup>	Quantitative Range, % <sup>B</sup>
Aluminum	0 to 0.075	0.02 to 0.075
Arsenic	0 to 0.1	0.05 to 0.1
Boron	0 to 0.007	0.002 to 0.007
Calcium	0 to 0.003	0.001 to 0.003
Carbon	0 to 1.1	0.08 to 1.1
Chromium	0 to 2.25	0.02 to 2.25
Cobalt	0 to 0.18	0.008 to 0.18
Copper	0 to 0.5	0.04 to 0.5
Manganese	0 to 2.0	0.10 to 2.0
Molybdenum	0 to 0.6	0.03 to 0.6
Nickel	0 to 5.0	0.02 to 5.0
Niobium	0 to 0.085	0.02 to 0.085
Nitrogen	0 to 0.015	0.004 to 0.015
Phosphorous	0 to 0.085	0.02 to 0.085
Silicon	0 to 1.15	0.07 to 1.15
Sulfur	0 to 0.055	0.01 to 0.055
Tin	0 to 0.045	0.01 to 0.045
Titanium	0 to 0.2	0.004 to 0.2
Vanadium	0 to 0.3	0.004 to 0.3
Zirconium	0 to 0.05	0.02 to 0.05

<sup>A</sup>Applicable range in accordance with Guide E 1763 for results reported in accordance with Practice E 1950.

<sup>B</sup>Quantitative range in accordance with Practice E 1601.

NOTE 1DThe concentration ranges of the elements listed have been established through cooperative testing<sup>2</sup> of reference materials. Included, in addition to the original data of Test Method E 415 ± 71, are data from cooperative testing of a broader range of reference materials to expand the element concentration ranges.

2 This test method covers analysis of specimens having a diameter adequate to overlap the bore of the spark stand opening (to effect an argon seal). The specimen thickness should be between 10 and 38 mm.

3 This test method covers the routine control analysis of

<sup>1</sup>This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-1 on Analytical Chemistry for Metals, Ores and Related Materials and is the direct responsibility of Subcommittee E01.01 on Iron, Steel, and Ferroalloys.

Current edition approved Nov. 10, 1999. Published April 2000. Originally published as E 415 ± 71. Last previous edition E 415 ± 99.

<sup>2</sup>Supporting data for this test method have been ®led at ASTM Headquarters as RR:E2-1004.

preliminary and ladle tests from either basic oxygen, open-hearth, or electric furnaces and analysis of processed material. It is designed for either chill-cast or rolled and forged specimens. The reference materials and specimens should be of similar metallurgical condition and composition.

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

**2. Referenced Documents**

2.1 *ASTM Standards:*

E 30 Test Methods for Chemical Analysis of Steel, Cast Iron, Open-Hearth Iron, and Wrought Iron<sup>3</sup>

E 135 Terminology Relating to Analytical Chemistry for Metals, Ores, and Related Materials<sup>4</sup>

E 158 Practice for Fundamental Calculations to Convert Intensities into Concentrations in Optical Emission Spectrochemical Analysis<sup>4</sup>

E 305 Practice for Establishing and Controlling Spectrochemical Analytical Curves<sup>4</sup>

E 350 Test Methods for Chemical Analysis of Carbon Steel, Low-Alloy Steel, Silicon Electrical Steel, Ingot Iron, and Wrought Iron<sup>4</sup>

E 406 Practice for Using Controlled Atmospheres in Spectrochemical Analysis<sup>5</sup>

E 1019 Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel and in Iron, Nickel, and Cobalt Alloys<sup>5</sup>

E 1329 Practice for Verification and Use of Control Charts in Spectrochemical Analysis<sup>5</sup>

E 1601 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Evaluate the Performance of an Analytical Method<sup>5</sup>

E 1763 Guide for Interpretation and Use of Results from Interlaboratory Testing of Chemical Analysis Methods<sup>5</sup>

E 1806 Practice for Sampling Steel and Iron for Determination of Chemical Composition<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Discontinued 1995, see 1994 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.05.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.05.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.06

E 1950 Practice for Reporting Results from Methods of Chemical Analysis<sup>5</sup>

### 3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this test method, refer to Terminology E 135.

### 4. Summary of Test Method

4.1 The most sensitive lines of arsenic, boron, carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, and tin lie in the vacuum ultra-violet region. The absorption of the radiation by air in this region is overcome by evacuating the spectrometer and flushing the spark chamber with argon. A capacitor discharge is produced between the flat, ground surface of the disk specimen and a conically shaped electrode. The discharge is terminated at a predetermined intensity time integral of a selected iron line, or at a predetermined time, and the relative radiant energies or concentrations of the analytical lines are recorded.

### 5. Significance and Use

5.1 This test method for the spectrometric analysis of metals and alloys is primarily intended to test such materials for compliance with compositional specifications. It is assumed that all who use this test method will be analysts capable of performing common laboratory procedures skillfully and safely. It is expected that work will be performed in a properly equipped laboratory.

### 6. Apparatus

#### *Sample Preparation Equipment:*

6.1.1 *Sample Mold*, capable of producing castings that are homogeneous and free from voids and porosity. Refer to Practice E 1806 for steel sampling procedures. The following mold types have been found to produce acceptable samples:

6.2 *Cast Iron Mold*—A mold 70 mm (2<sup>3</sup>/<sub>4</sub> in.) deep, 64 mm (2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> in.) in diameter at the top of the mold, and 57 mm (2<sup>1</sup>/<sub>4</sub> in.) in diameter at the bottom of the mold. The wall thickness of the mold is approximately 32 mm (1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> in.).

6.3 *Refractory Mold Ring*—A mold that has a minimum inside diameter of 32 mm (1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> in.) and a minimum height of 25 mm (1 in.). The ring is placed on a flat surface of a copper plate approximately 50 mm (2 in.) thick.

6.4 *Book-Type Steel or Copper Mold*, to produce a chill-cast disk 64 mm (2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> in.) in diameter and 13 mm (1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> in.) thick.

6.2 *Excitation Source*, capable of providing a triggered capacitor discharge having source parameters meeting the requirements of 11.1.

6.3 *Spark Chamber*, automatically flushed with argon. The spark chamber shall be mounted directly on the spectrometer, and shall be provided with a spark stand to hold a flat specimen and a lower electrode of rod form.

NOTE 2DClean the excitation chamber when the counter electrode is replaced. Clean the lens or protective window after approximately 200 to 300 excitations to minimize transmission losses.

*Spectrometer*, having a reciprocal linear dispersion of 2 nm/mm, or better, in the first order and a focal length of 2 to 3 m. Its approximate range shall be from 120.0 to 400.0

nm. Masks shall be provided in the spectrometer to eliminate scattered radiation. The spectrometer shall be provided with an air inlet and a vacuum outlet. The spectrometer shall be operated at a vacuum of 25 μ m of mercury or below. The primary slit width is 20 to 50 μ m. Secondary slit width is 50 to 6.4.4 μ m.

*Measuring System*, consisting of photomultipliers having individual voltage adjustments, capacitors in which the output of each photomultiplier is stored, a voltage measuring system to register the voltages on the capacitors either directly or indirectly, and the necessary switching arrangements to provide the desired sequence of operation.

*Vacuum Pump*, capable of maintaining a vacuum of 25 μ m Hg.

NOTE 3DA pump with a displacement of at least 0.23 m<sup>3</sup>/min (8 ft<sup>3</sup>/min) is usually adequate.

6.7 *Flushing System*, consisting of argon tanks, a pressure regulator, and a gas flowmeter. Automatic sequencing shall be provided to actuate the flow of argon at a given flow rate for a given time interval and to start the excitation at the end of the flush period. Means of changing the flow rate of argon shall be provided. The flushing system shall be in accordance with Practice E 406.

### 7. Reagents and Materials

7.1 *Counter Electrodes*—The counter electrodes shall be 6.4-mm (1<sup>3</sup>/<sub>4</sub>-in.) diameter, hard-drawn, fine, silver rods, 1.5-mm (1<sup>1</sup>/<sub>16</sub>-in.) thoriated, tungsten rods, or other material provided it can be shown experimentally that equivalent precision and bias is obtained. Machine the rods to a 90 or 120° cone.

NOTE 4DA black deposit builds up on the tip of the electrode, thus reducing the overall intensity of the spectral radiation. In general this condition will not affect analytical performance for the first 40 or 50 excitations, after which time a freshly prepared counter electrode should be installed. The number of acceptable excitations on an electrode varies from one instrument to another, and should be established in each laboratory. With a thoriated tungsten electrode, it has been reported that a hundred or more excitations can usually be made before replacement.

*Inert Gas, Argon*, in accordance with Practice E 406.

#### 9.4.6 Reference Materials

Certified Reference Materials (CRMs) are available from the National Institute of Standards and Technology and other sources. These cover all or part of the concentration ranges listed in 1.1. They are valuable in establishing preliminary working curves and determining the precision of the instrument. However, because of differences between these CRMs and the production specimens prepared by the sampling procedures recommended for this test method, curves based on CRMs may (in very unusual circumstances) need to be corrected with values from reference materials made by normal production sampling techniques and analyzed in accordance with Test Methods E 30, E 350, and E 1019.

*Reference Materials*—Periodically check the instrument for drift. For this purpose, verifiers and standardants are employed. These reference materials shall be homogeneous and contain appropriate amounts of each element, covering the concentration range of elements contained in the specimens.

### 9. Preparation of Specimens and Reference Materials

9.1 Use cast or rolled and forged samples. Cut a 13 to 25-mm (1/2 to 1-in.) thick slice from the sample or obtain an initial smooth flat surface by machining at least 1.3 mm (0.05 in.) off the original surface using a lathe or grinder. Make certain that the specimens are homogeneous and free from voids and pits in the region to be excited (Note 5). Rough grind the cut surface by grinding on a belt sander, either wet or dry, with 50 to 80-grit abrasive belt. Obtain the final surface by dry grinding. A finer abrasive belt, such as 120-grit, may be used for final dry grinding, but is not essential (Note 6).

NOTE 5 Specimen porosity is undesirable because it leads to the improper "diffuse-type" rather than the desired "concentrated-type" discharge. The specimen surface should be kept clean because the specimen is the electron emitter, and electron emission is inhibited by oily, dirty surfaces.

NOTE 6 Reference materials and specimens shall be re-finished dry on a belt sander before being re-excited on the same area.

### 10. Preparation of Apparatus

NOTE 7 The instructions given herein apply to most spectrometers; however, some settings and adjustments may need to be varied, and additional preparation of the equipment may be required. It is not within the scope of an ASTM test method to prescribe the minute details of the apparatus preparation which may differ not only for each manufacturer, but also for different equipment from the same manufacturer. For a description of and further details of operation of a particular spectrometer, refer to the manufacturer's handbook.

10.1 Program the spectrometer to accommodate the internal standard lines and one of the analytical lines for each element listed in Table 1.

NOTE 8 The lines listed in Table 1 have proven satisfactory for the elements and concentration ranges described in the scope. Other internal standard and analytical lines, such as those listed in Table 2, may be used provided that it can be shown experimentally that equivalent precision and accuracy are obtained.

TABLE 1 Internal Standard and Analytical Lines

10.2 Position or test the position of the spectrometer exit slits to ensure that peak radiation passes through each slit and is incident on the photomultiplier. This shall be done initially and as often as necessary thereafter to maintain proper alignment.

NOTE 9 The manner and frequency of positioning or checking the position of the exit slits will depend on factors such as: the type of spectrometer, the variety of analytical problems encountered, and the frequency of use. Each laboratory should establish a suitable check procedure.

### 11. Excitation and Exposure

#### 11.1 Electrical Parameters (Note 10)

11.1.1 Select excitation parameters within the following ranges

	Triggered Capacitor Discharge
Capacitance, $\mu\text{F}$	10 to 15
Inductance, $\mu\text{H}$	50 to 70
Resistance, $\Omega$	3 to 5
Potential, V	940 to 1000
Current, A, r-f	0.3 to 0.8
Number of discharge/s	60

NOTE 10 When parameter values are established, maintain them carefully. The variation of the power supply voltage shall not exceed 65 % and preferably should be held within 62 %.

Element	Wavelength, nm	Line Classification <sup>A</sup>	Possible Interference <sup>B</sup>
Aluminum	394.40	I	V, Mn, Mo, Ni
	308.22	I	V, Mn
Arsenic	197.20	I	Mo, W
	193.76	I	Mn
Boron	182.64	I	S, Mn, Mo
	182.59	I	W, Mn, Cu
Calcium	396.85	II	Nb
Carbon	193.09	I	Al
Chromium	298.92	II	Mn, V, Ni, Nb, Mo
	267.72	II	Mn, Mo, W
Cobalt	345.35	I	Cr, Mo
	228.62	II	Ni, Cr
Copper	327.40	I	Nb
	213.60	II	Mo, Cr
Iron (IS)	271.44	II	
	273.07	II	Co
Manganese	293.31	II	Cr, Mo, Ni
	255.86	II	Zr
Molybdenum	379.83	II	Mn
	277.54	I	Cu, V, Co, Mn
	386.41	I	V, Cr
	231.60	II	Co, Ti
Nickel	227.02	II	Nb, W
	319.50	II	Mo, Al, V
Niobium	319.50	II	Mo, Al, V
Nitrogen	149.26	I	Fe, Ti, Si, Mn, Cu, Ni and nitride forming elements such as Ti
			Mo
Phosphorus	178.29	I	Mo
Silicon	288.16	I	Mo, Cr, W
	251.61	I	Fe, V
Sulfur	180.73	I	Mn
Tin	189.99	II	Mn, Mo, Al
Titanium	337.28	II	Nb
	324.20	II	Nb
Vanadium	310.23	II	Fe, Mo, Nb, Ni
	311.07	II	Mn, Ti, Fe
Zirconium	343.82	II	W

<sup>A</sup> The numerals I or II in the line classification column indicate that the line has been classified in a term array and definitely assigned to the normal atom (I) or to the singly ionized atom (II).

<sup>B</sup> Interferences are dependent upon instrument design, spectrum line choices, and excitation conditions, and those listed require confirmation based upon specimens selected especially to demonstrate suspected interferences.

TABLE 2 Other Analytical Lines

Element	Wavelength, nm	Line Classification <sup>A</sup>	Possible Interference <sup>B</sup>
Arsenic	189.04	I	V, Cr
Carbon	165.81	I	
Copper	224.26	II	Ni
	324.75	I	Mn, Nb
Molybdenum	202.03	II	
	281.62	II	Mn
Silicon	212.415	II	Mo, Ni, V, Cu, Nb

<sup>7.6.2.2</sup> The numerals I or II in the line classification column indicate that the line has been classified in a term array and definitely assigned to the normal atom (I) or to the singly ionized atom (II).

<sup>7.6.2.3</sup> Interferences are dependent upon instrument design, dispersion, spectrum line choices, and excitation conditions, and those listed require confirmation based upon specimens selected especially to demonstrate suspected interferences.

**Initiation Circuit** The initiator circuit parameters shall be adequate to uniformly trigger the capacitor discharge. Nominal values found to be adequate are listed as follows:

Capacitance,  $\mu\text{F}$  0.0025



Inductance, $\mu$ H	residual
Resistance, V	2.5
Peak voltage, V	18 000

11.1.3 *Other Electrical Parameters*—Excitation units, on which the precise parameters given in 11.1.1 and 11.1.2 are not available, may be used provided that it can be shown experimentally that equivalent precision and accuracy are obtained.

11.2 *Exposure Conditions* (Note 11)—Use the following exposure conditions:

Pre-Flush period, s	5 to 15
Preburn period, s	5 to 20
Exposure period, s	3 to 30

Argon flow (Note 12)	<sup>3</sup> ft <sup>3</sup> /h	L/min
Flush	5 to 45	2.5 to 25
Preburn	5 to 45	2.5 to 25
Exposure	5 to 30	2.5 to 15

NOTE 11—Select preburn and exposure periods after a study of volatilization rates during specimen excitations. Once established, maintain the parameters consistently.

NOTE 12—A high-purity argon atmosphere is required at the analytical gap. Molecular gas impurities, nitrogen, oxygen, hydrocarbons, or water vapor, either in the gas system or from improperly prepared specimens should be minimized.

11.3 *Electrode System*—The specimen, electrically negative, serves as one electrode. The opposite electrode is a thoriated tungsten or silver rod, the tip of which has been sharpened to a 45 to 120° included angle cone. Use either a 3, 4, or 5-mm (60.1-mm) gap. Center the analytical gap on the optical axes of the spectrometer. Condition a fresh counter electrode with two to six excitations using the operating conditions in accordance with 11.1 and 11.2.

11.4 *Preliminary Calibration*—Excite a low- and a high-composition reference material and set the dynode potentials (photomultiplier sensitivity controls) for the internal standard line and each element line to obtain the desired voltages on the capacitors.

NOTE 13—The range of anode to cathode potentials for a given tube should be specified, that is 650 to 1000 V dc. If within the potential range the tube is either too sensitive or too insensitive for the element concentration range, select another photomultiplier. The potentials on the capacitors may be read directly, or a number of different readout systems may be employed which yield linear or logarithmic functions of the potentials and which may be displayed as relative numbers or as numbers calibrated directly in terms of percent.

**12. Calibration, Standardization, and Verification**

12.1 *Calibration*—Using the conditions given in 11.1-11.3, excite calibrants and potential standardants in a random sequence, bracketing these burns with excitations of any materials intended for use as verifiers. (A verifier may be used as a calibrant even though it is burned only as a verifier.) There shall be at least three calibrants for each element, spanning the required concentration range. Repeat with different random sequences at least two times. Using the averages of the data for each point, determine analytical curves as directed in Practices E 158 and E 305.

12.2 *Standardization*—Following the manufacturer's rec-

ommendations, standardize on an initial setup or anytime that it is known or suspected that readings have shifted. Make the necessary corrections either by adjusting the controls on the readout or by applying arithmetic corrections. Standardization will be done anytime verification indicates that readings have gone out of statistical control.

12.3 *Verification*—Verify that the instrument's standardization is valid immediately after each standardization, at the beginning of each shift, and as required in accordance with 12.3.2.

12.3.1 Analyze verifiers in accordance with Section 13. If results do not fall within the control limits established in 12.4, run another standardization or investigate why the instrument may be malfunctioning.

12.3.2 Repeat the verification at least every 4 h or if the instrument has been idle for more than 1 h. If readings are not in conformance, repeat the standardization.

12.4 *Quality Control*—Establish control limits in accordance with MNL 7,<sup>6</sup> Practice E 1329, or other equivalent quality control procedure.

**- Excitation and Radiation Measurements**

Place the prepared surface of the specimen on the excitation stand so that excitation will impinge on an area at least 6 mm (1/4 in.) from the edge of the specimen.

NOTE 14—With certain spectrometers, a properly excited specimen usually exhibits a dark ring around the pitted sparked area. With that equipment, a smooth, white, texture burn without the characteristic dark ring indicates an improperly excited specimen. However, if boron nitride disks are used to mechanically restrict the excited area of the sample, a properly excited specimen may not exhibit a dark ring.

Excite specimens in duplicate and report the average of the duplicate results.

**14. Calculation**

14.1 Average the duplicate percent concentration readings obtained for each specimen from a direct readout system, or use the average scale or clock reading to obtain the concentrations of constituents from the curves or from tables which have been prepared to relate scale values and concentrations.

**15. Precision and Bias**

15.1 *Precision*—Up to eight laboratories cooperated in performing this test method and obtained the statistical information summarized in Table 3. Additional data for within-laboratory variability of results, obtained by analyzing three specimens of one material in seven laboratories in accordance with source conditions specified in this method, are given in Table 4. Other specimens may exhibit greater or less variability using the same instrument and excitation conditions.

<sup>6</sup> MNL 7 *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis*, ASTM Manual Series, ASTM, 6th ed., 1990.


**E 415**
**TABLE 3 Statistical Information (Test Method E 415 Extension Study)**

Element	Average Concentration	Number of Laboratories	Repeatability, $R_1^A$	Relative Repeatability, %	Reproducibility, $R_2^A$	Relative Reproducibility, %
Aluminum	0.0669	7	0.004	5.98	0.025	34.7
	0.0625	5	0.003	4.80	0.023	36.8
	0.0212	7	0.005	23.6	0.011	51.9
Antimony	0.0038	2	0.0007	18.4	0.001	26.3
Arsenic	0.0415	6	0.005	12.0	0.0272	65.6
	0.0144	6	0.007	48.6	0.0247	172.
Boron	0.0063	7	0.0007	11.1	0.0011	17.5
	0.0038	7	0.0007	18.4	0.0042	110.
	0.0006	7	0.0003	50.0	0.0009	150.
Carbon	1.054	7	0.053	5.03	0.108	10.2
	0.507	7	0.025	4.93	0.061	12.0
	0.033	7	0.025	75.8	0.042	127.
Chromium	1.574	7	0.043	3.38	0.176	13.8
	1.307	6	0.123	9.41	0.124	9.49
	2.128	7	0.057	2.68	0.232	10.9
	0.118	7	0.003	2.54	0.011	9.32
	0.093	7	0.003	3.23	0.008	8.60
Cobalt	0.157	4	0.008	5.10	0.057	36.3
	0.114	7	0.011	9.65	0.023	20.2
	0.0086	8	0.0007	8.14	0.004	46.5
Copper	0.435	7	0.025	5.75	0.039	8.97
	0.150	7	0.009	6.00	0.026	17.3
	0.054	7	0.008	14.8	0.022	40.7
Manganese	1.893	7	0.052	2.75	0.181	9.56
	1.494	7	0.052	3.48	0.141	9.44
	0.559	7	0.023	4.11	0.074	13.2
	0.316	7	0.013	4.11	0.051	16.1
Molybdenum	0.561	7	0.012	2.14	0.168	29.9
	0.325	7	0.008	2.46	0.037	11.4
	0.147	7	0.005	3.40	0.016	10.9
Nickel	4.796	6	0.275	5.73	0.691	14.1
	2.208	7	0.112	5.07	0.164	7.43
	0.180	6	0.012	6.67	0.022	12.2
	0.108	7	0.006	5.56	0.010	9.26
	0.0578	7	0.003	5.19	0.015	26.0
Niobium	0.076	7	0.007	9.21	0.010	13.2
	0.0084	5	0.003	35.7	0.018	214.
	0.0078	5	0.003	38.5	0.014	179.
Phosphorus	0.0775	7	0.005	6.45	0.017	21.9
	0.0379	7	0.003	7.92	0.012	31.7
	0.0124	7	0.003	24.2	0.009	72.6
Silicon	1.063	7	0.031	2.92	0.107	10.1
	0.391	7	0.015	3.84	0.099	25.3
	0.176	7	0.006	3.41	0.035	19.9
Sulfur	0.0505	7	0.006	11.9	0.015	29.7
	0.0209	7	0.005	28.9	0.007	33.5
	0.0146	7	0.002	13.7	0.005	41.1
Tin	0.040	7	0.002	5.00	0.024	60.0
	0.024	7	0.002	8.33	0.011	45.8
	0.0056	7	0.001	17.9	0.007	125.
Titanium	0.190	7	0.024	12.6	0.045	23.7
	0.029	7	0.004	13.8	0.017	58.6
	0.0019	7	0.0007	36.8	0.002	105.
Vanadium	0.279	7	0.007	2.51	0.041	14.7
	0.091	7	0.002	2.20	0.015	16.5
	0.0026	7	0.0002	7.69	0.002	76.9

**E 415****TABLE 3** *Continued*

Element	Average Concentration	Number of Laboratories	Repeatability, $R_1^A$	Relative Repeatability, %	Reproducibility, $R_2^A$	Relative Reproducibility, %
Zirconium	0.0439	5	0.006	13.7	0.009	20.5
	0.0075	5	0.002	26.7	0.012	160.
	0.0025	5	0.001	40.0	0.008	320.

<sup>A</sup>  $R_1$  is equivalent to  $r$ , Practice E 1601;  $R_2$  is equivalent to  $R$ , Practice E 1601.

**TABLE 4** Variability of Results Within Individual Laboratories (NBS 1262)

Element NBS Value	Average Concentration, %	Laboratory	Standard Deviation, % <sup>A</sup>	Relative Standard Deviation, RSD % <sup>B</sup>	Element NBS Value	Average Concentration, %	Laboratory	Standard Deviation, % <sup>A</sup>	Relative Standard Deviation, RSD % <sup>B</sup>
Aluminum 0.095	0.087	1	0.0032	3.70	Molybdenum 0.068	0.068	1	0.0012	1.46
	0.0936	2	0.0047	5.03		0.0681	2	0.0040	5.91
	0.0823	3	0.0083	10.10		0.0663	3	0.00173	2.60
	0.0992	4	0.0030	3.01		0.069	4	0.00064	0.92
	0.0999	5	0.0019	1.90		0.068	5	0.0011	1.60
	0.095	6	0.0015	1.58		0.069	6	0.00068	0.98
	0.0899	7	0.0012	1.36		0.0645	7	0.0005	0.73
Antimony 0.012	0.0125	1	0.0018	14.40	Nickel 0.59	...	1	no value	no value
	no value	2	no value	no value		0.597	2	0.0078	1.31
	no value	3	no value	no value		0.560	3	0.0069	1.22
	no value	4	no value	no value		0.589	4	0.0022	0.36
	no value	5	no value	no value		0.606	5	0.0097	1.60
	0.0110	6	0.00031	2.85		0.589	6	0.00443	0.75
	no value	7	no value	no value		0.556	7	0.0027	0.49
Arsenic 0.076	0.060	1	0.0024	4.00	Niobium 0.29	0.290	1	0.0120	4.10
	no value	2	no value	no value		0.292	2	0.0108	3.69
	0.1085	3	0.0045	4.16		0.321	3	0.0098	3.06
	no value	4	no value	no value		0.292	4	0.0037	1.26
	0.0718	5	0.0029	4.00		0.289	5	0.0137	4.70
	0.0871	6	0.00243	2.79		0.283	6	0.0059	2.08
	0.0784	7	0.0021	2.64		0.2636	7	0.0042	1.58
Boron 0.0025	0.0026	1	0.00040	15.40	Phosphorus 0.042	0.0414	1	0.0022	5.30
	0.00174	2	0.00043	24.68		0.0355	2	0.00144	4.04
	0.0030	3	0.0003	10.13		0.0414	3	0.0012	2.85
	0.00257	4	0.00009	3.50		0.0394	4	0.00039	1.00
	0.00303	5	0.00014	4.60		0.040	5	0.0014	3.50
	0.00242	6	0.00007	2.89		0.0369	6	0.00063	1.72
	0.0028	7	0.0001	2.23		0.0342	7	0.0004	1.30
Carbon 0.16	0.160	1	0.0080	5.00	Silicon 0.39	0.403	1	0.0046	1.14
	0.164	2	0.0094	5.76		0.392	2	0.0058	1.49
	0.158	3	0.0046	2.92		0.393	3	0.0126	3.21
	0.162	4	0.0022	1.37		0.398	4	0.0030	0.75
	0.159	5	0.007	4.40		0.389	5	0.0059	1.50
	0.159	6	0.0037	2.29		0.437	6	0.0032	0.73
	0.162	7	0.0038	2.24					
Chromium 0.30	0.296	1	0.0048	1.62	Sulfur 0.038	0.0376	1	0.0020	5.30
	0.300	2	0.0038	1.28		0.0404	2	0.00239	5.94
	0.309	3	0.0039	1.26		0.0363	3	0.00118	2.85
	0.302	4	0.0015	0.49		0.0387	4	0.00103	2.65
	0.300	5	0.0032	1.10		0.0392	5	0.0014	3.50
	0.304	6	0.00220	0.72		0.0376	6	0.00132	3.51
	0.298	7	0.0020	0.68		0.0375	7	0.0014	3.78
Cobalt 0.30	0.299	1	0.0054	1.80	Tin 0.016	0.0164	1	0.00067	3.75
	0.302	2	0.0044	1.45		0.0157	2	0.00048	3.08
	0.252	3	0.0137	5.45		0.0207	3	0.00046	2.21
	0.304	4	0.0020	0.66		0.0178	4	0.00072	4.04
	no value	5	no value	no value		0.0158	5	0.0026	2.90
	0.299	6	0.00597	2.00		0.016	6	0.00044	2.77
	0.3038	7	0.0029	0.97		0.0175	7	0.0004	2.27
Copper	0.499	1	0.0116	2.32	Titanium	0.079	1	0.0043	5.44

**TABLE 4** *Continued*

Element NBS Value	Average Concentration, %	Laboratory	Standard Deviation, % <sup>A</sup>	Relative Standard Deviation, RSD % <sup>B</sup>	Element NBS Value	Average Concentration, %	Laboratory	Standard Deviation, % <sup>A</sup>	Relative Standard Deviation, RSD % <sup>B</sup>
0.50	0.502	2	0.0098	1.95	0.084	0.089	2	0.0025	2.81
	0.494	3	0.0212	4.28		0.0899	3	0.000324	3.60
	0.505	4	0.00346	0.69		0.091	4	0.0011	1.17
	0.496	5	0.012	2.40		0.0882	5	0.0005	1.30
	0.499	6	0.00852	1.71		0.085	6	0.00135	1.59
	0.534	7	0.0099	1.85		0.1073	7	0.0017	1.55
Manganese	1.056	1	0.0092	0.87	Vanadium	0.040	1	0.00037	0.92
1.04	1.00	2	0.0081	0.81	0.041	0.0402	2	0.00054	1.34
	1.10	3	0.0143	1.29		0.0410	3	0.0010	2.43
	1.050	4	0.0072	0.69		0.0413	4	0.00022	0.52
	1.038	5	0.015	1.50		0.0387	5	0.0005	1.30
	1.016	6	0.0117	1.15		0.039	6	0.00036	0.92
	1.038	7	0.0087	0.84		0.0458	7	0.0004	0.78
Zirconium	0.192	1	0.0089	4.70	Zirconium	0.191	5	0.0081	4.20
0.19	no value	2	no value	no value	0.19	0.173	6	0.00495	2.863
	0.305	3	0.0177	5.81		0.1941	7	0.0070	3.611
	0.187	4	0.0048	2.58					

<sup>A</sup> Standard Deviation (s) was calculated as follows:

$$s = \sqrt{\frac{\sum d^2}{N-1}}$$

where:

$d$  = difference of determination from mean, and  $N$  = number of determinations.

<sup>B</sup> Relative Standard Deviation (RSD) was calculated as follows:

$$\text{RSD} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

where:

$s$  = standard deviation, and  
 $\bar{x}$  = average concentration, %.

15.1.1 *Precision for Calcium and Nitrogen*—Up to eight laboratories cooperated in performing this test method and obtained the precision information summarized in Table 5.<sup>7</sup> An approximate value for the expected reproducibility index,  $R$ , in the range of 0 to 0.0030 % calcium can be calculated from the following equation in which  $C_a$  % is the expected calcium level:

$$R = 0.00048^2 \sqrt{1 - C_a} \% [m] P 5 0.30 \sqrt{2} \quad (1)$$

15.1.2 For nitrogen, the reproducibility index,  $R$ , has the approximate value of 0.0020 throughout the range of 0 to 0.015 % nitrogen.

NOTE 15—The interlaboratory test data summarized in Tables 5 and 6 has been evaluated in accordance with Practice E 1601.

*Bias*—At least three specimens that previously had been analyzed by chemical techniques in more than one laboratory were analyzed following the conditions of this test method. The data are given in Table 7 (Note 15).

15.2.1 *Bias for Calcium and Nitrogen*—The bias of this test method at certain concentration levels may be judged by comparing the accepted reference values with the arithmetic average obtained by interlaboratory testing (see Table 6).

## 16. Keywords

16.1 carbon steel; low-alloy steel; optical emission; spectrometric analysis

<sup>7</sup> Supporting data is available from ASTM Headquarters. Request RR: E01-1022.



## E 415

**TABLE 5 Statistical Information for Calcium and Nitrogen**

Test Material	Number of Laboratories	Found, %	Minimum SD ( $S_{M_i}$ , Practice E 1601)	Reproducibility SD ( $S_R$ , Practice E 1601)	Reproducibility Index ( $R$ , Practice E 1601)	$R$ % <small>rel</small>
<b>Calcium</b>						
C	6	0.00020	0.000021	0.000175	0.00049	250
G	7	0.00036	0.000025	0.000181	0.00051	139
H	8	0.00106	0.000075	0.000210	0.00059	55.7
F	8	0.00118	0.000134	0.000249	0.00070	59.0
D	8	0.00149	0.000135	0.000231	0.00065	43.3
J	8	0.00186	0.000129	0.000298	0.00083	45.0
A	8	0.00201	0.000119	0.000218	0.00061	30.3
I	8	0.00207	0.000064	0.000181	0.00051	24.4
B	8	0.00267	0.000182	0.000328	0.00092	34.4
E	8	0.00288	0.000258	0.000436	0.00122	42.5
<b>Nitrogen</b>						
C	8	0.00125	0.000143	0.000781	0.00218	175
E	8	0.00400	0.000169	0.000787	0.00220	55.7
F	8	0.00478	0.000175	0.000779	0.00218	45.6
H	8	0.00509	0.000157	0.000684	0.00192	37.6
G	8	0.00751	0.000247	0.000715	0.00200	26.7
D	8	0.00817	0.000218	0.000650	0.00182	22.2
B	8	0.00977	0.000264	0.000587	0.00164	16.8
A	8	0.01289	0.000239	0.000603	0.00169	13.1
I	8	0.01364	0.000264	0.000813	0.00228	16.7

**TABLE 6 Bias Information for Calcium and Nitrogen**

Test Material	Assumed True Value, %	Average Spectrometer Value, %	Difference, %	Material Identification, Uncertainty or (SD)	Low Alloy Steel Description
<b>Calcium</b>					
C	0.00027	0.00020	-0.00007	BS CA4A 0.00004	chill-cast
G	0.0004	0.00036	-0.00004	BS CCS 1 (0.00005)	wrought
H	0.0011	0.00106	-0.00004	ST 06 (0.00013)	wrought
F	0.0014	0.00118	-0.00022	BS 58G (0.00019)	wrought
D	0.0016	0.00149	-0.00011	BS 54D (0.00015)	wrought
J	0.0021	0.00186	-0.00024	ST 08 (0.00014)	wrought
A	0.0018	0.00201	0.00021	BS CA1A (0.0003)	chill-cast
I	0.0022	0.00207	-0.00003	ST 07 (0.0002)	wrought
B	0.0029	0.00267	-0.00023	BS CA2A (0.0003)	chill-cast
E	0.0033	0.00288	-0.00042	BS CSN 2D (0.0003)	wrought
<b>Nitrogen</b>					
C	0.0011	0.00125	0.00015	BS 54D (0.0003)	wrought
E	0.0036	0.00400	0.00040	BS XAAS (0.00025)	wrought
F	0.0044	0.00478	0.00038	BS XCCS (0.00025)	wrought
H	0.0056	0.00509	-0.00051	BS XCCV (0.00024)	wrought
G	0.0074	0.00751	-0.00009	BS XCCT (0.0002)	wrought
D	0.0087	0.00817	-0.00053	BS 56G (0.0004)	wrought
B	0.0106	0.00977	-0.00083	BS CA4A (0.0007)	chill-cast
A	0.0135	0.01289	-0.00061	BS CA1A (0.00075)	chill-cast
I	0.0136	0.01364	0.00004	BS 46A (0.00038)	wrought



**E 415**

**TABLE 7 Bias Data**

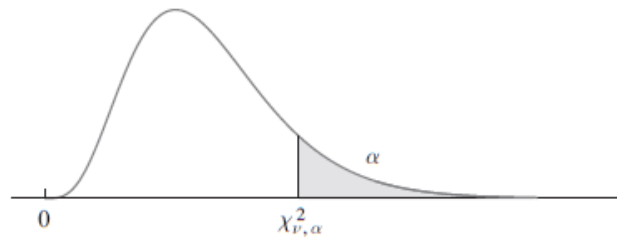
Element	Assumed True Value, %	Average Spectrometer Value, %	Number of Laboratories	Deviation from Assumed True Value, %	Element	Assumed True Value, %	Average Spectrometer Value, %	Number of Laboratories	Deviation from Assumed True Value, %
Aluminum	0.04	0.038	4	0.00		0.35	0.34	5	-0.01
	0.058	0.062	4	+0.004		0.56	0.54	3	-0.02
Boron	0.007	0.006	7	-0.001	Niobium	0.023	0.024	2	+0.001
Carbon	0.073	0.072	5	-0.001	Phosphorus	0.10	0.11	2	+0.01
	0.22	0.21	5	-0.01		0.005	0.005	5	0.000
	0.50	0.51	7	+0.01		0.009	0.009	5	0.000
	0.67	0.66	5	-0.01		0.036	0.038	7	+0.002
Chromium	0.05	0.05	5	0.00	Silicon	0.046	0.042	5	-0.004
	0.08	0.09	7	+0.01		0.089	0.078	7	-0.011
	0.37	0.35	5	-0.02		0.024	0.029	3	+0.005
	0.85	0.85	3	0.00		0.18	0.18	7	0.00
Cobalt	0.12	0.11	7	-0.01	Sulfur	0.19	0.18	5	-0.01
	0.17	0.16	4	-0.01		0.35	0.36	5	+0.01
Copper	0.016	0.017	3	+0.001	Tin	0.40	0.39	7	-0.01
	0.056	0.054	7	-0.002		0.008	0.006	4	-0.002
	0.070	0.065	3	-0.005		0.032	0.028	5	-0.004
	0.101	0.098	3	-0.003		0.034	0.038	3	+0.004
Manganese	0.44	0.43	5	-0.01	Titanium	0.053	0.051	7	-0.002
	0.57	0.58	5	+0.01		0.004	0.005	5	+0.001
	0.98	0.94	5	-0.04		0.008	0.008	5	0.000
	1.43	1.49	7	+0.06		0.024	0.025	5	+0.001
Molybdenum	0.008	0.012	4	+0.004	Vanadium	0.028	0.024	7	-0.004
	0.10	0.10	4	0.00		0.044	0.040	7	-0.004
	0.14	0.15	7	+0.01		0.002	0.002	7	0.000
	0.33	0.33	7	0.00		0.027	0.029	7	+0.002
Nickel	0.034	0.038	5	+0.004		0.002	0.002	2	0.000
	0.10	0.11	7	+0.01		0.012	0.012	2	0.000
						0.135	0.138	2	+0.003
						0.27	0.28	7	+0.01

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

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

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

TABLA A.6 Puntos porcentuales superiores para la distribución  $\chi^2$



$\nu$	$\alpha$									
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.90	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.085	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.240	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.041	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	14.848	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	15.659	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559
25	10.520	11.524	13.120	14.611	16.473	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	18.114	36.741	40.113	43.195	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	19.768	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	20.599	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672
31	14.458	15.655	17.539	19.281	21.434	41.422	44.985	48.232	52.191	55.003
32	15.134	16.362	18.291	20.072	22.271	42.585	46.194	49.480	53.486	56.328
33	15.815	17.074	19.047	20.867	23.110	43.745	47.400	50.725	54.776	57.648
34	16.501	17.789	19.806	21.664	23.952	44.903	48.602	51.966	56.061	58.964
35	17.192	18.509	20.569	22.465	24.797	46.059	49.802	53.203	57.342	60.275
36	17.887	19.233	21.336	23.269	25.643	47.212	50.998	54.437	58.619	61.581
37	18.586	19.960	22.106	24.075	26.492	48.363	52.192	55.668	59.893	62.883
38	19.289	20.691	22.878	24.884	27.343	49.513	53.384	56.896	61.162	64.181
39	19.996	21.426	23.654	25.695	28.196	50.660	54.572	58.120	62.428	65.476
40	20.707	22.164	24.433	26.509	29.051	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766

Para  $\nu > 40$ ,  $\chi^2_{\nu, \alpha} \approx 0.5(z_{\alpha} + \sqrt{2\nu - 1})$ .