

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

SEDE CUENCA



CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Tesis previa a la obtención del Título de:
Ingeniero Mecánico Automotriz.

TEMA:

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DEL
DISCO DE FRENO DE UN VEHICULO CHEVROLET AVEO
CUANDO ESTÁ SOMETIDO A DIVERSAS TEMPERATURAS**

AUTORES:

**FREILY ROLANDO CUEVA JARAMILLO
OLIVER SANTIAGO OCHOA CISNEROS**

DIRECTOR:

ING. MARCO AMAYA

CUENCA – DICIEMBRE DE 2012

CERTIFICO

Que el siguiente trabajo de tesis “Análisis del comportamiento del material del disco de freno de un vehículo Chevrolet Aveo cuando está sometido a diversas temperaturas”, realizado por los estudiantes: Freily Rolando Cueva Jaramillo y Oliver Santiago Ochoa Cisneros, fue dirigido por mi persona.

Cuenca, 21 de Diciembre de 2012



Ing. Marco Amaya

DECLARATORIA

Todos los conceptos, investigaciones, cálculos, pruebas, desarrollo y analizados en el presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores, así como las conclusiones expuestas.



Freily Rolando Cueva Jaramillo



Oliver Santiago Ochoa Cisneros

DEDICATORIA

Dedico a Dios, mi esposa, hija, mis padres y mis hermanas por su apoyo incondicional para culminar mis estudios, por la ayuda otorgada para desarrollo de este proyecto de tesis. A mis amigos y compañeros por la motivación, confianza que me brindan.

Freily Rolando Cueva Jaramillo

DEDICATORIA

Dedico este enorme logro en mi vida profesional a Diosito y a la Virgencita, Mi esposa Mayra, mis hijos Gabriel y Joaquín; Mi mami Lurdes, mis suegros y toda la familia y amigos que con su apoyo y ayuda contribuyeron para la culminación de este proyecto de tesis.

Oliver Santiago Ochoa Cisneros

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Oscar Cueva, Miryan Jaramillo a mi esposa e hija Fabiola Ortiz Amelia Cueva O, a mis hermanas, quienes a lo largo del tiempo me han apoyado y motivado en mi formación académica, que creyeron en mí en todo momento. Al Ing. Marco Amaya por la asesoría y ayuda para la culminación del proyecto de tesis.

Freily Rolando Cueva Jaramillo

AGRADECIMIENTO

En primera instancia quiero agradecer a mi Dios por darme las fuerzas e inteligencia para haber culminado este proyecto de tesis y por bendecirme con la presencia incondicional de mi familia, mi mami Lurdes Cisneros, mi esposa Mayra Castro, mis hijos Gabriel y Joaquín Ochoa y mis suegros; quienes a lo largo de mi carrera universitaria siempre me apoyaron y creyeron en mí en todo momento.

De manera especial al Ing. Marco Amaya, Ing. Juan Montero, Dra. Inés Malo e Ing. Pablo Arévalo por la asesoría y ayuda brindada para la culminación del proyecto de tesis.

Oliver Santiago Ochoa Cisneros

INDICE.

INTRODUCCION.....	XX
CAPITULO 1	2
1 MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 DISCOS DE FRENO.....	3
1.2 COMPOSICIÓN DE LOS DISCOS DE FRENO.....	4
1.3 PRINCIPALES PROBLEMAS ASOCIADOS A LOS DISCOS DE FRENO.....	5
1.3.1 La temperatura excesiva.....	5
1.3.2 Discos Agrietados.....	6
1.4 CORTE POR CHORRO DE AGUA.....	7
1.5 ENSAYO METALOGRÁFICO.....	8
1.5.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS METALOGRAFICAS.....	8
1.5.1.1 TOMA DE MUESTRA (CORTE TRANSVERSAL).....	8
1.5.1.2 MONTAJE.....	9
1.5.1.3 DESBASTE.....	10
1.5.1.3.1 Desbaste tosco.....	10
1.5.1.3.2 Desbaste medio.....	10
1.5.1.3.3 Desbaste fino.....	11
1.5.1.4 Pulido.....	11
1.6 ENSAYOS EN LOS MATERIALES.....	14
1.6.1 Ensayos no destructivos.....	15
1.6.1.1 Ensayo de dureza.....	15
1.6.1.2 Propiedades mecánicas de los materiales.....	15
1.6.1.3 Definiciones de dureza.....	15
1.6.1.4 DUREZA BRINELL.....	16
1.6.1.4.1 Principio del Ensayo.....	16
1.6.1.4.2 Símbolo y designación.....	17
1.6.1.4.3 Máquina de ensayo.....	18
1.6.1.4.4 Identador o Penetrador.....	18
1.6.1.4.5 Probeta de ensayo.....	19
1.6.1.4.6 Procedimiento.....	19
1.6.2 Ensayos destructivos.....	20
1.6.2.1 Ensayo de tracción.....	20
1.6.2.1.1 MUESTRA DE ENSAYO.....	21
1.6.2.1.2 CONDICIÓN DE ENSAYO.....	21
1.6.2.1.3 MÁQUINAS DE ENSAYO.....	21
1.6.2.1.4 PROCEDIMIENTO.....	22
1.6.2.2 Ensayo de flexión.....	23
1.6.2.2.1 Resistencia A La Flexión.....	24
1.6.2.2.2 Flecha - Modulo De Elasticidad.....	25
1.6.2.2.3 Probetas.....	25
1.6.2.2.4 Condiciones de ensayos.....	25

1.6.2.3	Ensayo de resiliencia.....	26
1.7	METALURGIA DE LOS HIERROS.....	29
1.7.1	Consideraciones de diseño de los discos de freno.....	29
1.7.2	Diagrama de materiales.....	30
1.7.3	Diagrama de fases Fe-C.....	31
1.7.4	Propiedades mecánicas y físicas de los hierros.....	32
1.7.5	Morfología y distribución de las hojuelas de grafito en los hierros grises.....	34
1.7.6	Influencia de los elementos aleantes en los hierros grises.....	37
1.7.6.1	Carbono en el hierro fundido.....	37
1.7.6.2	Silicio en el hierro fundido.....	37
1.7.6.3	Azufre en el hierro fundido.....	39
1.7.6.4	Manganeso en el hierro fundido.....	40
1.7.6.5	Cobre en el hierro fundido.....	40
1.7.6.6	Fósforo en el hierro fundido.....	40
1.7.6.7	Cromo en el hierro fundido.....	41
1.7.6.8	Níquel en el hierro fundido.....	41
1.7.6.9	Molibdeno en el hierro fundido.....	41
1.7.6.10	Estaño en el hierro fundido.....	41
1.7.6.11	Vanadio en el hierro fundido.....	42
1.7.6.12	Aluminio en el hierro fundido.....	42
1.7.6.13	Otros elementos.....	42
CAPITULO 2	43
2.1	DETERMINACION DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO.....	44
2.2	DISEÑO DE RUTAS.....	45
2.3	DESARROLLO DEL PROCESO DE MEDICIÓN.....	47
2.4	DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DE FUNCIONAMIENTO.....	52
2.5	CONCLUSIÓN DEL PROCESO DE MEDICIÓN.....	52
CAPITULO 3	53
3.	DESARROLLO DE LOS ENSAYOS.....	54
3.1	Corte por chorro de agua.....	54
3.2	Equipo que posee la máquina de corte.....	55
3.3	Proceso.....	58
3.4	Codificación de las probetas obtenidas.....	62
3.5	Determinación de los componentes internos del material del disco de freno por medio de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.....	64
3.5.1	Preparación de la muestra.....	64
3.6	Ensayo Metalográfico (probetas sin calentamiento).....	69
3.6.1	Preparación de las probetas.....	69
3.6.2	Ataque de las probetas.....	71
3.7	Ensayo de dureza. (Probetas sin calentamiento).....	74
3.8	Calentamiento de las probetas a 350°C.....	76
3.9	Ensayo metalográfico (probetas calentadas y enfriadas).....	80
3.10	Ensayo de dureza (probetas calentadas y enfriadas).....	84
3.11	Ensayo de Tracción (probetas calentadas y enfriadas).....	86
3.12	Ensayo de Flexión (probetas calentadas y enfriadas).....	87
3.13	Ensayo de Impacto (probetas calentadas y enfriadas).....	93

3.14	Ensayo de durabilidad de los discos de freno.	96
CAPITULO 4		101
4.	COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS.....	102
4.1	Metodología.	102
4.2	Tipos de grafito.	102
4.3	Comparación resultados composición química vs catalogo VERSA-BAR.	105
4.4	Comparación de los resultados ensayos metalográficos.	108
4.5	Comparación de los resultados del ensayo de dureza.	110
4.6	Comparación de los resultados del ensayo de tracción.	111
4.7	Comparación de los resultados del ensayo de flexión.....	113
4.8	Comparación de los resultados del ensayo de impacto.	115
4.9	Comparación de los resultados del ensayo de durabilidad.....	116
4.10	Diagrama Hierro - Carbono.	117
4.11	Comparación de los microconstituyentes presentes en los ensayos metalográficos.....	120
4.12	Comparación de la composición química entre el Disco Alterno y el Original.	122
CAPITULO 5		126
5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	127
5.1	Ensayo de flexión de los discos de freno calentados a 350°C y enfriados en Agua y al Ambiente.....	127
5.1.1	Ensayo de flexión de los discos calentados a 350 °C y enfriados en Agua.....	127
5.1.2	Ensayo de flexión de los discos calentados a 350 °C y enfriados al Ambiente.....	131
5.2	Ensayo de Tracción de los discos de freno calentados a 350°C y enfriados en Agua y al Ambiente.....	135
5.2.1	Ensayo de tracción de los discos calentados a 350 °C y enfriados en Agua.	135
5.2.2	Ensayo de Tracción de los discos calentados a 350 °C y enfriados al Ambiente...	139
5.3	Ensayo de Impacto de los discos calentados a 350 °C y enfriados en Agua y al Ambiente.	143
5.3.1	Ensayo de impacto de los discos calentados a 350 °C y enfriados en Agua.	143
5.3.2	Ensayo de impacto de los discos calentados a 350 °C y enfriados al Ambiente. ...	147
5.4	Ensayo de Dureza del disco de freno Original y Alterno calentados y no calentados a 350°C.	151
5.4.1	Ensayo de dureza de los discos sin calentar a 350 °C.	151
5.4.2	Ensayo de dureza de los discos calentados a 350 °C y enfriados en agua.	155
5.5	Comparación de parejas medias del tratamiento.	159
5.5.1	MCB de Hsu (comparaciones múltiples con el mejor).....	159
5.6	Ensayo de dureza de los discos calentados a 350 °C enfriados al ambiente.	161
5.6.1	Comparación de parejas medias del tratamiento.	165
5.6.1.1	MCB de Hsu (comparaciones múltiples con el mejor).....	165
5.8	Conclusión general de los ensayos.	167
CAPITULO 6		168
6.	CONCLUSIONES.....	169
6.1	Ensayo Metalográfico.	169
6.2	Ensayo de Dureza.....	169
6.2.1	Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados en agua.	169

6.2.2	Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados al ambiente.	170
6.3	Ensayo de Tracción.....	171
6.3.1	Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados en agua.	171
6.3.2	Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados al ambiente.	171
6.4	Ensayo de Flexión.....	172
6.4.1	Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados en agua.	172
6.4.2	Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados al ambiente.	172
6.5	Ensayo de Durabilidad.....	173
6.6	Análisis Estadístico.....	174
BIBLIOGRAFIA.....		175
ANEXOS.....		177

INDICE DE GRAFICOS.

GRAFICO 1. GENERALIDADES DE LOS DISCOS DE FRENO.....	3
GRAFICO 2. COMPOSICIÓN DE LOS DISCOS DE FRENO.....	4
GRAFICO 3. COMPOSICIÓN BÁSICA DE LOS DISCOS DE FRENO.....	4
GRAFICO 4. DISTRIBUCIÓN TÉRMICA EN EL DISCO AUTOVENTILADO.....	5
GRAFICO 5. DISCO DE FRENO AGRIETADO.....	6
GRAFICO 6. DIAGRAMA DE UNA MAQUINA DE CORTE POR CHORRO DE AGUA.....	7
GRAFICO 7. MICROSCOPIO ÓPTICO.....	8
GRAFICO 8. PROBETAS METALGRÁFICAS.....	9
GRAFICO 9. BANCO DE LIJADO.....	10
GRAFICO 10. MAQUINA PULIDORA.....	12
GRAFICO 11. PULIMENTOS.....	12
GRAFICO 12. PAÑOS PARA PULIR.....	13
GRAFICO 13. PRESIÓN DEL IDENTADOR SOBRE LA PROBETA.....	16
GRAFICO 14. MÁQUINA UNIVERSAL PARA ENSAYOS.....	22
GRAFICO 15. ENSAYO CON APLICACIÓN DE DOS FUERZAS.....	24
GRAFICO 16. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN.....	26
GRAFICO 17. ENSAYO DE IMPACTO.....	26
GRAFICO 18. MÁQUINA PARA ENSAYO DE IMPACTO METRO COM.....	28
GRAFICO 19. DIAGRAMA DE LA DENSIDAD DE MATERIALES EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA.....	30
GRAFICO 20. DIAGRAMA DE FASES DEL SISTEMA DE EQUILIBRIO FE-C.....	31
GRAFICO 21. DISTRIBUCIÓN DEL GRAFITO SEGÚN ASTM A 247.....	34
GRAFICO 22. TAMAÑOS DE HOJUELAS DE GRAFITO SEGÚN ASTM A 247.....	35
GRAFICO 23. TAMAÑOS RELACIÓN DE LA ESTRUCTURA ENTRE EL CONTENIDO DE CARBONO Y SILICIO DE UN HIERRO FUNDIDO.....	38
GRAFICO 24. TAMAÑOS RELACIÓN DE LA RESISTENCIA TENSIL ENTRE EL CONTENIDO DE CARBONO Y S ILICIO DE UN HIERRO.....	39
GRAFICO 25. ESQUEMA DE LA DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO.....	44
GRAFICO 26. RUTA A DENTRO DE LA CIUDAD DE CUENCA.....	45
GRAFICO 27. RUTA B POR LAS AFUERAS DE LA CIUDAD DE CUENCA (CUENCA, PAUTE, GUALACEO, CUENCA).....	46
GRAFICO 28. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA CON PIRÓMETRO.....	47
GRAFICO 29. BOLSA DE AGUA.....	55
GRAFICO 30. BOQUILLA.....	56
GRAFICO 31. CENTRO DE REFRIGERACIÓN.....	56
GRAFICO 32. DEPOSITO DE ABRASIVOS.....	57
GRAFICO 33. DESCALCIFICADOR.....	57
GRAFICO 34. DEPURADOR DE ABRASIVOS.....	58
GRAFICO 35. TRAZADO DE LAS PROBETAS EN EL DISCO DE FRENO.....	58
GRAFICO 36. SOFTWARE DE SIMULACIÓN Y PROCESO DE CORTE.....	59
GRAFICO 37. ORDENADOR PRINCIPAL DE LA MÁQUINA DE CORTE.....	59
GRAFICO 38. SUJECCIÓN DEL DISCO DE FRENO.....	60

GRAFICO 39. CORTE DEL DISCO DE FRENO.	61
GRAFICO 40. CORTE DEL DISCO DE FRENO.	61
GRAFICO 41. PROBETAS OBTENIDAS DEL CORTE POR CHORRO DE AGUA.	61
GRAFICO 42. DILUCIÓN DE LAS MUESTRAS EN AGUA REGIA..	65
GRAFICO 43. MATRAZ KITASATO Y EMBUDO BUSHNER..	66
GRAFICO 44. SOLUCIÓN A Y C LISTAS PARA COLOCAR EN LA MÁQUINA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	67
GRAFICO 45. ESPECTRÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA AI 1300.	68
GRAFICO 46. PROBETAS ESMERILADAS Y CHAFLANADAS..	69
GRAFICO 47. BANCO DE LIJADO.	70
GRAFICO 48. PROCESO DE FRICCIÓN DE LA PROBETA PARA DESBASTE.	70
GRAFICO 49. PULIDO DE LA PROBETA.	71
GRAFICO 50. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES PARA EL ATAQUE.	72
GRAFICO 51. PROBETAS ATACADAS CON NITAL 2 DURANTE 25SEG.	72
GRAFICO 52. FOTOS PROBETA DISCO ALTERNO SIN CALENTAMIENTO.	73
GRAFICO 53. FOTOS PROBETA DISCO ORIGINAL SIN CALENTAMIENTO.	74
GRAFICO 54. MÁQUINA PARA ENSAYO DE DUREZA BRINELL.	75
GRAFICO 55. IDENTADOR 1/16" PARA ENSAYO DE DUREZA.	75
GRAFICO 56. HORNO.	77
GRAFICO 57. PANEL DIGITAL PARA CALIBRACIÓN DEL HORNO.	77
GRAFICO 58. COLOCACIÓN DE LAS PROBETAS EN LA BANDEJA DE ENTRADA.	78
GRAFICO 59. RETIRO DE LA BANDEJA DEL HORNO.	78
GRAFICO 60. ENFRIAMIENTO DE LAS PROBETAS POR AGUA.	79
GRAFICO 61. ENFRIAMIENTO DE LAS PROBETAS AL AMBIENTE.	79
GRAFICO 62. DISCO ALTERNO CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.	80
GRAFICO 63. DISCO ALTERNO CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.	81
GRAFICO 64. DISCO ORIGINAL CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.	82
GRAFICO 65. DISCO ORIGINAL CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.	83
GRAFICO 66. CONVERSIÓN DE HRB A HB.	84
GRAFICO 67. CONVERSIÓN DE HRB A HB.	84
GRAFICO 68. CONVERSIÓN DE HRB A HB.	85
GRAFICO 69. CONVERSIÓN DE HRB A HB.	85
GRAFICO 70. PROBETA DE FLEXIÓN.	88
GRAFICO 71. CORTE TRANSVERSAL DE LA PROBETA DE FLEXIÓN.	88
GRAFICO 72. DETERMINACIÓN DE LAS COORDENADAS DE LOS CENTROIDES.	89
GRAFICO 73. CENTRO DE GRAVEDAD DE LA FIGURA.	90
GRAFICO 74. DIAGRAMA PARA CÁLCULO DE ESFUERZO MÁXIMO.	91
GRAFICO 75. MÁQUINA DE ENSAYO CHARPY DE MARCA METRO COM.	94
GRAFICO 76. MAQUETA PARA REALIZAR EL ENSAYO DE DURABILIDAD DE DISCOS DE FRENO.	96
GRAFICO 77. SISTEMA DE FRENADO MEDIANTE ACCIONAMIENTO MANUAL.	97
GRAFICO 78. MOVIMIENTO DEL DISCO PRODUCIDO POR UN MOTOR ELÉCTRICO DE 5HP.	97
GRAFICO 79. DISPOSICIÓN DE LA MORDAZA Y PASTILLAS DE FRENADO.	98
GRAFICO 80. CONTROL DEL MOTOR ELÉCTRICO MEDIANTE MULTÍMETRO DE GANCHO.	98
GRAFICO 81. DISPOSITIVO DE SEGURIDAD MEDIANTE FINAL DE CARRERA.	99
GRAFICO 82. PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO.	99
GRAFICO 83. CARACTERIZACIÓN DE LOS DISCOS DE FRENO.	102
GRAFICO 84. DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE GRAFITO.	103
GRAFICO 85. TAMAÑO DE HOJUELAS DE GRAFITO SEGÚN NORMA ASTM A247.	103

GRAFICO 86. FASES PRESENTES EN LOS DISCOS SEGÚN NORMA ASTM A247.	104
GRAFICO 87. COMPARACIÓN ENTRE EL ENSAYO METALOGRAFICO Y EL CATALOGO VERSA- BAR.	104
GRAFICO 88. COMPARACIÓN ENTRE EL ENSAYO METALOGRAFICO Y EL CATALOGO VERSA- BAR.	105
GRAFICO 89. COMPARACIÓN ENSAYOS METALOGRAFICOS.	108
GRAFICO 90. COMPARACIÓN ENSAYOS METALOGRAFICOS.	109
GRAFICO 91. DUREZA ROCKWELL DISCO ORIGINAL VS DISCO ALTERNO.	110
GRAFICO 92. RESISTENCIA MÁXIMA A LA TRACCIÓN DISCO ORIGINAL VS DISCO ALTERNO. .	111
GRAFICO 93. CARGA MÁXIMA A LA TRACCIÓN DISCO ORIGINAL VS DISCO ALTERNO.	112
GRAFICO 94. RESISTENCIA MÁXIMA A LA FLEXIÓN DISCO ORIGINAL VS DISCO ALTERNO.	113
GRAFICO 95. CARGA MÁXIMA A LA FLEXIÓN DISCO ORIGINAL VS DISCO ALTERNO.	114
GRAFICO 96. CARGA MÁXIMA AL IMPACTO DISCO ORIGINAL VS DISCO ALTERNO.	115
GRAFICO 97. DURABILIDAD DISCO ORIGINAL VS DISCO ALTERNO.	116
GRAFICO 98. DIAGRAMA HIERRO CARBONO DISCO ALTERNO.	118
GRAFICO 99. DIAGRAMA HIERRO CARBONO DISCO ORIGINAL.	119
GRAFICO 100. DIFERENCIA LONGITUD HOJUELAS GRAFITO DISCO ALTERNO.	120
GRAFICO 101. DIFERENCIA LONGITUD HOJUELAS GRAFITO DISCO ORIGINAL.	121
GRAFICO 102. GRAFICA DE CAJA DE LAS MEDIAS DE LOS ESFUERZOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LOS DISCOS DE FRENO ORIGINAL VS ALTERNO. ENFRIADOS EN AGUA.	130
GRAFICO 103. DISTRIBUCIÓN F DE LAS MEDIAS DE LOS ESFUERZOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LOS DISCOS DE FRENO ORIGINAL VS ALTERNO. ENFRIADOS EN AGUA.	130
GRAFICO 104. DE CAJA DE DATOS DE LOS DISCOS ORIGINAL VS ALTERNO ENSAYO FLEXIÓN. ...	134
GRAFICO 105. DISTRIBUCIÓN F.	134
GRAFICO 106. DE CAJA DE DATOS DE LOS DISCOS ORIGINAL VS ALTERNO ENSAYO TRACCIÓN. .	138
GRAFICO 107. DISTRIBUCIÓN F. FUENTE: LOS AUTORES.	138
GRAFICO 108. DE CAJA DE DATOS DE LOS DISCOS ORIGINAL VS ALTERNO ENSAYO TRACCIÓN. .	142
GRAFICO 109. DISTRIBUCIÓN F. FUENTE: LOS AUTORES.	142
GRAFICO 110. DE CAJA DE DATOS DE LOS DISCOS ORIGINAL VS ALTERNO ENSAYO IMPACTO. ...	146
GRAFICO 111. DISTRIBUCIÓN F. FUENTE: LOS AUTORES.	146
GRAFICO 112. DE CAJA DE DATOS DE LOS DISCOS ORIGINAL VS ALTERNO ENSAYO IMPACTO. ...	150
GRAFICO 113. DISTRIBUCIÓN F. FUENTE: LOS AUTORES.	150
GRAFICO 114. DE CAJA DE DATOS DE LOS DISCOS ORIGINAL VS ALTERNO ENSAYO DUREZA.	154
GRAFICO 115. DISTRIBUCIÓN F. FUENTE: LOS AUTORES.	154
GRAFICO 116. DE CAJA DE DATOS DE LOS DISCOS ORIGINAL VS ALTERNO ENSAYO DUREZA.	158
GRAFICO 117. DISTRIBUCIÓN F.	158
GRAFICO 118. MCB DE HSU (COMPARACIONES MÚLTIPLES CON EL MEJOR).	159
GRAFICO 119. RESIDUOS VERSUS VALORES AJUSTADOS.	160
GRAFICO 120. HISTOGRAMA DE RESIDUOS.	160
GRAFICO 121. DE CAJA DE DATOS DE LOS DISCOS ORIGINAL VS ALTERNO ENSAYO DUREZA.	164
GRAFICO 122. DISTRIBUCIÓN F.	164
GRAFICO 123. MCB DE HSU (COMPARACIONES MÚLTIPLES CON EL MEJOR).	165
GRAFICO 124. RESIDUOS VERSUS VALORES AJUSTADOS.	166
GRAFICO 125. HISTOGRAMA DE RESIDUOS.	166
GRAFICO 126. DUREZA BRINELL DISCO ALTERNO VS. DISCO ORIGINAL. CALENTADOS Y ENFRIADOS EN AGUA.	169
GRAFICO 127. DUREZA BRINELL DISCO ALTERNO VS. DISCO ORIGINAL. CALENTADOS Y ENFRIADOS AL AMBIENTE.	170

GRAFICO 128. ENSAYO DE TRACCIÓN DISCO ALTERNO VS. DISCO ORIGINAL. CALENTADOS Y ENFRIADOS EN AGUA.....	171
GRAFICO 129. ENSAYO DE TRACCIÓN DISCO ALTERNO VS. DISCO ORIGINAL. CALENTADOS Y ENFRIADOS AL AMBIENTE.....	171
GRAFICO 130. ENSAYO DE FLEXIÓN DISCO ALTERNO VS. DISCO ORIGINAL. CALENTADOS Y ENFRIADOS EN AGUA.....	172
GRAFICO 131. ENSAYO DE FLEXIÓN DISCO ALTERNO VS. DISCO ORIGINAL. CALENTADOS Y ENFRIADOS AL AMBIENTE.....	172
GRAFICO 132. DURABILIDAD DEL DISCO ALTERNO VS DISCO ORIGINAL A 90KM/H.	173

INDICE DE TABLAS.

TABLA 1. SÍMBOLOS Y DESIGNACIONES.....	17
TABLA 2. CARGAS DE PRUEBA PARA DISTINTAS CONDICIONES DE ENSAYO.....	18
TABLA 3. RELACIÓN CARGA – DIÁMETRO PAR+A DISTINTOS MATERIALES METÁLICOS.....	20
TABLA 4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS FASES DEL DIAGRAMA BINARIO DEL SISTEMA FE-C.....	32
TABLA 5. GRADO DE HIERROS GRISES AUTOMOTRICES PARA PROPÓSITOS DE DISEÑO POR SAE J431	33
TABLA 6. RANGOS DE DUREZA PARA DIFERENTES HIERROS GRISES.....	33
TABLA 7. CAPACIDAD RELATIVA A LA ABSORCIÓN DEL VIBRADO (DAMPING) PARA ALGUNOS MATE RIALES.....	34
TABLA 8. TAMAÑO DE LAS HOJUELAS EN MM SEGÚN ASTM A 247.....	36
TABLA 9. LONGITUD DE LAS HOJUELAS DE GRAFITO A 100X, DE ACUERDO A LA ASTM A-247.....	36
TABLA 10. RUTA A DENTRO DE LA CIUDAD DE CUENCA.....	48
TABLA 11. RUTA A DENTRO DE LA CIUDAD DE CUENCA.....	48
TABLA 12. RUTA A DENTRO DE LA CIUDAD DE CUENCA.....	49
TABLA 13. RUTA B EN LAS AFUERAS DE LA CIUDAD DE CUENCA (CUENCA, PAUTE, GUALACEO, CUENCA).....	50
TABLA 14. RUTA B EN LAS AFUERAS DE LA CIUDAD DE CUENCA (CUENCA, PAUTE, GUALACEO, CUENCA).....	50
TABLA 15. CANTIDAD DE PROBETAS OBTENIDAS POR DISCO DE FRENO.....	62
TABLA 16. CODIFICACIÓN PROBETAS DISCO ALTERNO 1.....	62
TABLA 17. CODIFICACIÓN PROBETAS DISCO ALTERNO 2.....	62
TABLA 18. CODIFICACIÓN PROBETAS DISCO ORIGINAL 1.....	63
TABLA 19. CODIFICACIÓN PROBETAS DISCO ORIGINAL 2.....	64
TABLA 20. PESO DE PROBETAS VS AGUA REGIA.....	65
TABLA 21. PORCENTAJES DE ACIDO CLORHÍDRICO Y ACIDO NÍTRICO PARA PREPARAR AGUA REGIA.....	65
TABLA 22. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES A Y C PARA DETERMINAR CU, MN, CR, NI.....	66
TABLA 23. VALORES DE REFERENCIA PARA CALIBRAR LA MÁQUINA DE ABSORCIÓN ATÓMICA SEGÚN COMPONENTES A DETERMINAR..	67
TABLA 24. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MAQUINA POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN PARTES POR MILLO (PPM).....	68
TABLA 25. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MAQUINA POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN TANTO POR CIENTO (%).....	69
TABLA 26. RESULTADO OBTENIDO SEGÚN MATERIAL DE DISCO DE FRENO EN %.....	69
TABLA 27. RESULTADOS ENSAYO DUREZA ROCKWELL HRB.....	76
TABLA 28. RESULTADOS ENSAYO DUREZA ROCKWELL HRB.....	76
TABLA 29. RESULTADOS ENSAYO DUREZA ROCKWELL HRB.....	84
TABLA 30. RESULTADOS ENSAYO DUREZA ROCKWELL HRB.....	84
TABLA 31. RESULTADOS ENSAYO DUREZA ROCKWELL HRB.....	85
TABLA 32. RESULTADOS ENSAYO DUREZA ROCKWELL HRB.....	85
TABLA 33. DISCO ALTERNO CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.....	86
TABLA 34. DISCO ALTERNO CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.....	87

TABLA 35. DISCO ORIGINAL CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.	87
TABLA 36. DISCO ORIGINAL CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.	87
TABLA 37. DISCO ALTERNO CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.	92
TABLA 38. DISCO ALTERNO CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.	92
TABLA 39. DISCO ORIGINAL CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.	92
TABLA 40. DISCO ORIGINAL CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.	92
TABLA 41. DISCO ALTERNO CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.	95
TABLA 42. DISCO ALTERNO CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.	95
TABLA 43. DISCO ORIGINAL CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.	96
TABLA 44. DISCO ORIGINAL CALENTADO A 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.	96
TABLA 45. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DURABILIDAD.	100
TABLA 46. COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA..	105
TABLA 47. DUREZA Y LÍMITE DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE VERSA-BAR FC-200.	106
TABLA 48. COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DISCO ORIGINAL.	106
TABLA 49. DUREZA Y LÍMITE DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE VERSA-BAR FC-300.	107
TABLA 50. VARIACIÓN DE LA DUREZA EN EL DISCO ALTERNO.	110
TABLA 51. VARIACIÓN DE LA DUREZA EN EL DISCO ORIGINAL.	110
TABLA 52. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MÁXIMA EN EL DISCO ALTERNO.	111
TABLA 53. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MÁXIMA EN EL DISCO ORIGINAL.	111
TABLA 54. VARIACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA EN EL DISCO ALTERNO.	112
TABLA 55. VARIACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA EN EL DISCO ORIGINAL.	112
TABLA 56. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MÁXIMA EN EL DISCO ALTERNO.	113
TABLA 57. VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MÁXIMA EN EL DISCO ORIGINAL.	113
TABLA 58. VARIACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA EN EL DISCO ALTERNO.	114
TABLA 59. VARIACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA EN EL DISCO ORIGINAL.	114
TABLA 60. VARIACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA EN EL DISCO ALTERNO.	115
TABLA 61. VARIACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA EN EL DISCO ORIGINAL.	115
TABLA 62. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DURABILIDAD.	116
TABLA 63. COMPARACIÓN COMPOSICIÓN QUÍMICA DISCO ALTERNO VS DISCO ORIGINAL.	122
TABLA 64. COMPARACIÓN COMPOSICIÓN QUÍMICA DISCO ALTERNO VS DISCO ORIGINAL. ENSAYO ABSORCIÓN ATÓMICA.	123
TABLA 65. INFLUENCIA QUE LOS DIVERSOS ELEMENTOS ALEADOS EJERCEN SOBRE LA FORMACIÓN DEL GRAFITO Y DE LOS CARBUROS Y SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MATRIZ.	124
TABLA 66. INFLUENCIA QUE TIENEN LOS DIVERSOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN SOBRE LOS PUNTOS CRÍTICOS.	125
TABLA 67. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LOS DISCOS DE FRENO CALENTADOS A 350°C Y ENFRIADOS EN AGUA.	127
TABLA 68. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05).	129
TABLA 69. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE UN FACTOR.	130
TABLA 70. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LOS DISCOS DE FRENO CALENTADOS A 350°C Y ENFRIADOS AL AMBIENTE.	131
TABLA 71. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05).	133
TABLA 72. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE UN FACTOR.	134
TABLA 73. RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DE LOS DISCOS CALENTADOS A 350°C Y ENFRIADOS EN AGUA.	135
TABLA 74. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05).	137
TABLA 75. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE UN FACTOR.	138

TABLA 76. RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DE LOS DISCOS CALENTADOS A 350°C Y ENFRIADOS AL AMBIENTE.....	139
TABLA 77. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05).....	141
TABLA 78. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE UN FACTOR.....	142
TABLA 79. RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO DE LOS DISCOS CALENTADOS A 350°C Y ENFRIADOS EN AGUA.....	143
TABLA 80. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05).....	145
TABLA 81. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE UN FACTOR.....	145
TABLA 82. RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO DE LOS DISCOS CALENTADOS A 350°C Y ENFRIADOS AL AMBIENTE.....	147
TABLA 83. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05).....	149
TABLA 84. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE UN FACTOR.....	149
TABLA 85. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA DE LOS DISCOS SIN CALENTAR A 350°C.	151
TABLA 86. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05).....	153
TABLA 87. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE UN FACTOR.....	153
TABLA 88. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA DE LOS DISCOS CALENTADAS A 350°C Y ENFRIADOS EN AGUA.....	155
TABLA 89. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05).....	157
TABLA 90. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE UN FACTOR.....	157
TABLA 91. MCB DE HSU (COMPARACIONES MÚLTIPLES CON EL MEJOR).....	159
TABLA 92. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA DE LOS DISCOS CALENTADAS A 350°C Y ENFRIADOS AL AMBIENTE.....	161
TABLA 93. TABLA DE VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05).....	163
TABLA 94. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE UN FACTOR.....	163
TABLA 95. MCB DE HSU (COMPARACIONES MÚLTIPLES CON EL MEJOR).....	165

INDICE DE FORMULAS.

FÓRMULA 1. ESFUERZO A LA TENSIÓN	24
FÓRMULA 2. MOMENTO FLECTOR	24
FÓRMULA 3. CENTROS DE GRAVEDAD EJE X.....	89
FÓRMULA 4. CENTROS DE GRAVEDAD EJE Y.....	89
FÓRMULA 5. MOMENTO CENTROIDAL DE INERCIA	90
FÓRMULA 6. MOMENTO FLEXIONANTE.	91
FÓRMULA 7. ESFUERZO MÁX. TENSIÓN.	92

INTRODUCCION.

Se realiza el análisis del comportamiento del material del disco de freno de un vehículo Chevrolet Aveo cuando está sometido a diversas temperaturas con el fin de determinar que sucede internamente en el material de los discos de freno alterno y original cuando se calienta a una temperatura máxima de funcionamiento y se enfrían en agua y al ambiente.

Capítulo 1.

En el capítulo uno se describe la función, material, composición y principales problemas asociados a los discos de freno. También se detalla el corte por chorro de agua y el proceso para realizar los ensayos metalográficos, de dureza, de tracción, de flexión y de impacto. Luego se explica el procedimiento para realizar el diagrama hierro carbono y en qué aspecto influyen cada uno de los componentes del diagrama y se incluye el análisis de las hojuelas de grafito y el tipo de matriz de las fundiciones.

Capitulo 2.

En el capitulo dos se realiza la determinación de las variables de estudio, para lo cual se elige dos variables que son el calentamiento de los discos de freno y el método de enfriamiento. Para determinar el calentamiento de los discos se diseñaron dos rutas, una dentro de la ciudad de Cuenca y otra fuera de la misma; y con la ayuda de un pirómetro se tomo lectura del calentamiento del disco obteniendo así la temperatura de funcionamiento. Luego se elige dos métodos de enfriamiento común presentes en los discos de freno. Luego se elije una temperatura máxima de funcionamiento que nos va a servir de base para realizar los ensayos pertinentes.

Capitulo 3.

En el capitulo tres se realiza el corte de las probetas por chorro de agua, la codificación de las probetas, la determinación de los componentes internos por medio

de la técnica de absorción atómica, los ensayos metalográficos, ensayo de dureza, de tracción, de flexión, de impacto y de durabilidad.

Capítulo 4.

En el capítulo cuarto se realiza la comparación de los resultados obtenidos en el capítulo tres, además se dibuja el diagrama hierro-carbono especificando en que parte del diagrama se encuentran los materiales de los discos, los componentes internos y de qué manera influyen en las propiedades mecánicas de los mismos.

Capítulo 5.

En el capítulo cinco se realiza el análisis estadístico de los resultados obtenidos, con el fin de demostrar si hay o no una diferencia significativa entre uno u otro que acepte las hipótesis nula o alternativa de dicho análisis. Además se demuestra, si es que hay diferencia entre discos; cual es el mejor.

Capítulo 6.

En el capítulo seis se realizan las conclusiones individuales de cada ensayo y resultado obtenido, además se concluye cual de los discos de freno es de mejor calidad de fabricación y por ende cual tiene mayor tiempo de durabilidad a diversas temperaturas.

CAPÍTULO 1

1 MARCO TEÓRICO.

1.1 Discos de Freno.

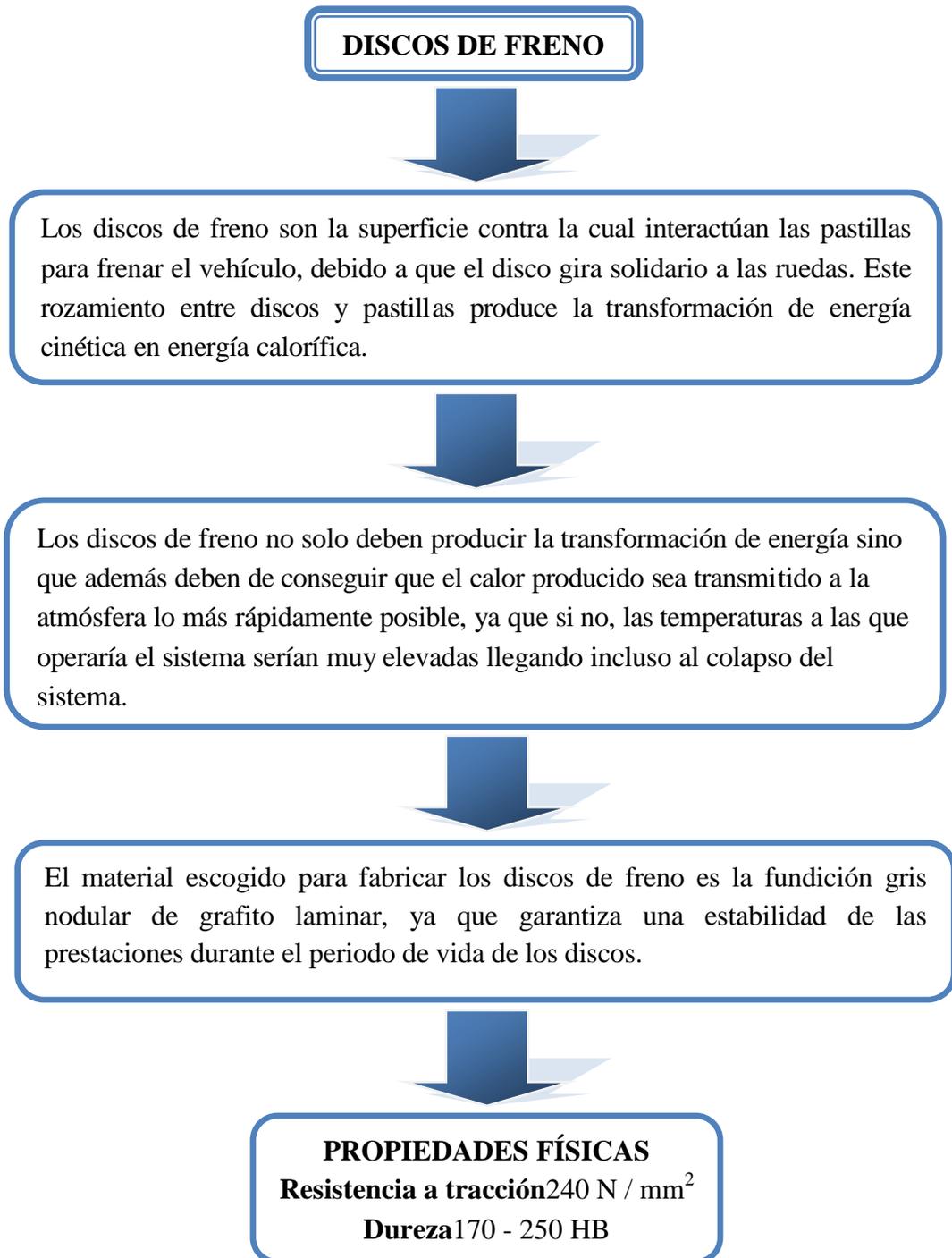


Grafico 1. Generalidades de los discos de freno. Fuente: Autores.

¹<http://es.scribd.com/doc/12797643/Manual-Tecnico-Frenos-DiscoPastilla-Cap-5>

1.2 Composición de los Discos de Freno.

COMPOSICION DE LOS DISCOS DE FRENO.

La composición básica del material de los discos de freno es una fundición gris nodular de grafito laminar, que contiene entre un 92% y un 93% de hierro.

Otros componentes básicos tales como el silicio, manganeso y otros garantizan la calidad de un elemento crítico en el frenado como es el disco.

Grafico 2. Composición de los discos de freno.1 Fuente: Autores.

En el grafico 3 se observa en porcentaje la composición básica de los discos de freno.

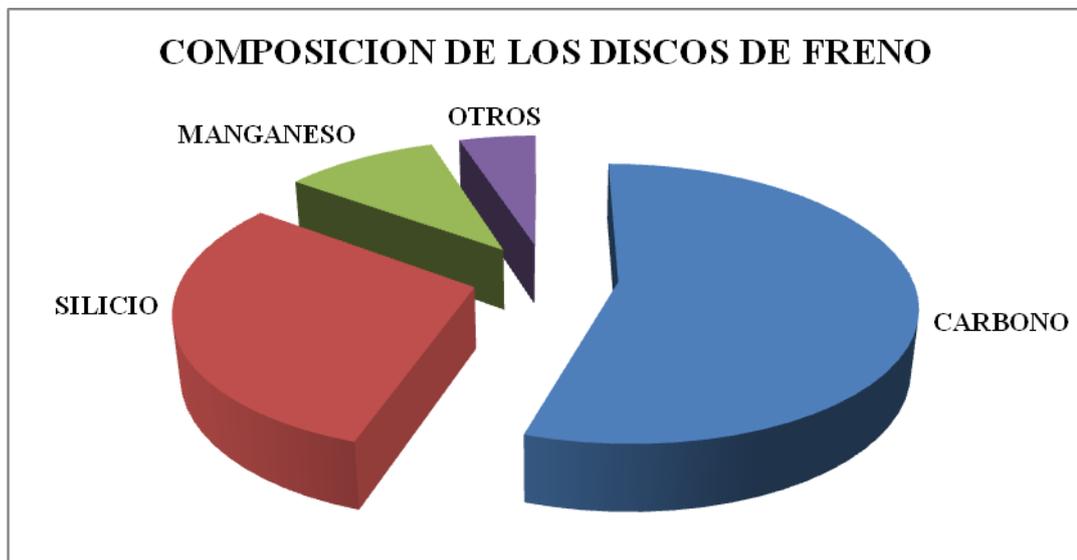


Grafico 3. Composición básica de los discos de freno. Fuente: Autores.

¹<http://es.scribd.com/doc/12797643/Manual-Tecnico-Frenos-DiscoPastilla-Cap-5>

1.3 Principales problemas asociados a los discos de freno.

1.3.1 La temperatura excesiva.

Cuando existe una elevada temperatura en los discos de freno debido a la fricción existente entre la pastilla y el disco; los discos presentan vivos colores en la gama de los azules, que principalmente son visibles en la zona donde actúan las pastillas con el disco de freno. Esta zona cambia de color al sufrir un calentamiento brusco que transforma la estructura del material.¹

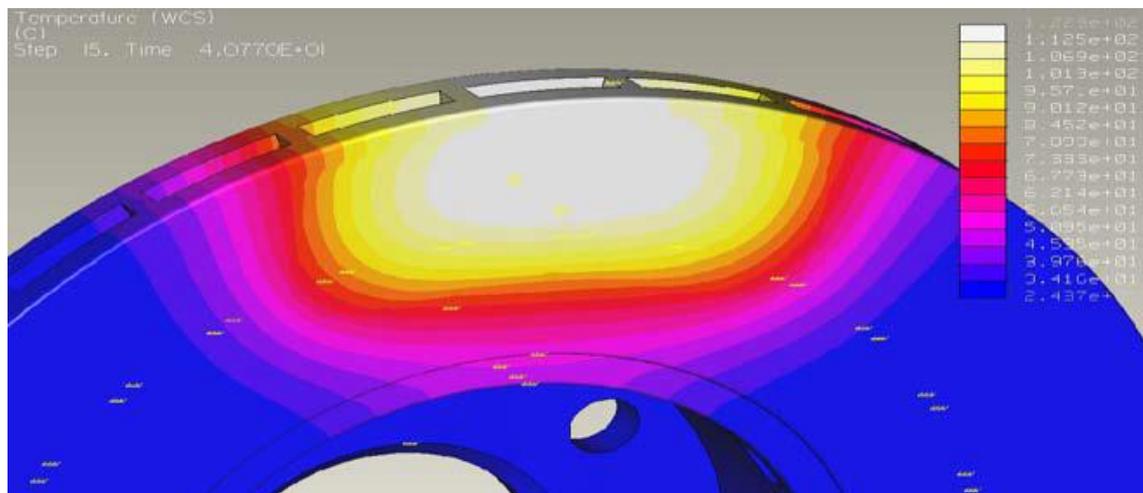


Grafico 4. Distribución térmica en el disco autoventilado. Fuente: Comportamiento Termomecánico En Un Disco De Freno Macizo Y Uno Auto-Ventilado

El aumento de la temperatura hace variar la estructura del material de los discos que incluso puede formar zonas de cementita (Fe_3C), cuya estructura es nefasta para el sistema de frenos, debido a que la cementita es una estructura del hierro muy dura que provoca la aparición de vibraciones en el sistema de freno y un comportamiento del material de fricción diferente cuando entra en contacto con esa parte del disco.

En la zona donde se ha formado la cementita el coeficiente de fricción es diferente, produciendo cambios en su estructura interna y favoreciendo a la aparición de grietas que dañen el disco y pongan en riesgo la seguridad de la conducción.²

¹Comportamiento Termomecánico En Un Disco De Freno Macizo Y Uno Auto-Ventilado

²<http://es.scribd.com/doc/12797643/Manual-Tecnico-Frenos-DiscoPastilla-Cap-5>

1.3.2 Discos Agrietados.

El funcionamiento de los discos de freno a elevadas temperaturas favorece la aparición de grietas producidas por el sobrecalentamiento del mismo que son claramente visibles en la parte donde actúan las pastillas. Las altas temperaturas favorecen la aparición de las grietas, las cuales se forman al existir pequeños poros en el material, debido a las altas temperaturas, crecerán hasta formar la grieta. En el grafico 5 se observa como el desgaste prematuro de las pastillas ha hecho muescas en el disco; en donde se aprecia claramente el surco que el soporte de la pastilla ha dejado sobre el borde exterior del disco.¹



Grafico 5. Disco de freno agrietado. Fuente:<http://www.juratek.com/support-discs.php?a=setLanguage&languageID=49&&support-discs.php=>

Las grietas se producen debido a las deformaciones a las que son sometidos los discos y los impactos que las pastillas producen sobre los mismos. Se provocan vibraciones y existe la posibilidad de que una de las grietas crezca tanto que rompa el disco, con el consiguiente riesgo que ello con lleva.

Existen métodos y ensayos de materiales que dan valores de dureza, resistencia, resiliencia, estructura interna del material, etc. los mismos que ayudan a identificar las diferencias entre los distintos tipos de discos de freno demostrando la diferencia entre originales y alternos.²

¹<http://es.scribd.com/doc/12797643/Manual-Tecnico-Frenos-DiscoPastilla-Cap-5>

²<http://es.scribd.com/doc/12797643/Manual-Tecnico-Frenos-DiscoPastilla-Cap-5>

1.4 CORTE POR CHORRO DE AGUA.

El corte por chorro de agua es un proceso de índole mecánico, mediante el cual se consigue cortar cualquier material, haciendo impactar sobre éste un chorro de agua a gran velocidad que produce el corte deseado.

Es un proceso revolucionario que hoy en día es de máxima utilidad y comienza a ser un recurso habitual a la hora de mecanizar piezas, es bastante simple pero a la vez muy complejo. Resulta una herramienta muy versátil y cuya aplicación es extensible a prácticamente todos los trabajos industriales.

Al ser un procedimiento de corte en frío resulta especialmente interesante, ya que esta demandado en todas las aplicaciones en las que el material no se pueda ver afectado por el calor. Existen numerosas ventajas que hacen de éste un producto puntero en el mundo industrial, respecto a otros métodos más limitados.¹

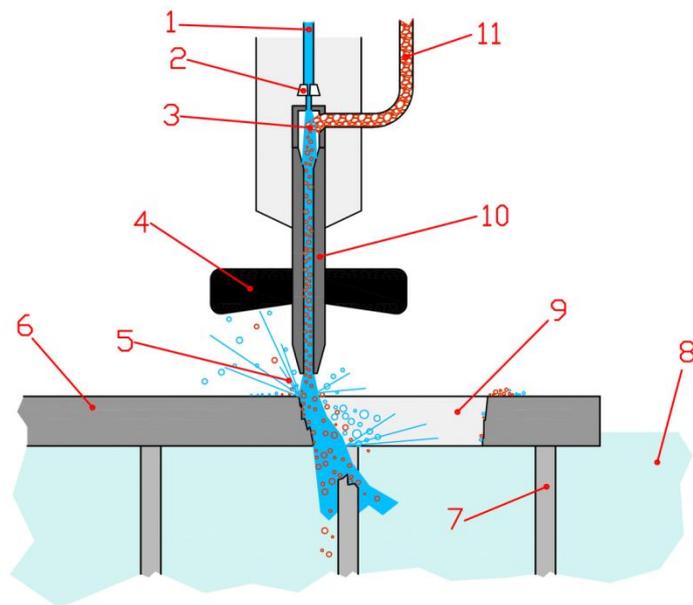


Grafico 6. Diagrama de una maquina de corte por chorro de agua. 1. Alta presión de agua - 2. Enfoque - 3. Cámara de mezcla - 4. Tapa - 5. Salpicaduras - 6. Pieza de trabajo - 7. Pieza de red permanente - 8. Agua - 9. Parte de la pieza de trabajo cortada - 10. Boquilla - 11. Arena abrasiva.

Fuente:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Diagram_of_water_jet_cutter_machine.png

¹http://es.wikipedia.org/wiki/Corte_con_chorro_de_agua

1.5 ENSAYO METALOGRÁFICO.

1.5.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS METALOGRAFICAS

1.5.1.1 TOMA DE MUESTRA (CORTE TRANSVERSAL).

Por lo general, se deben cortar varios trozos pequeños del material a examinar. La ubicación de las muestras y la forma en que se corten afectarán los resultados y su interpretación. La zona donde se efectuara la muestra depende del tipo de pieza a examinar.

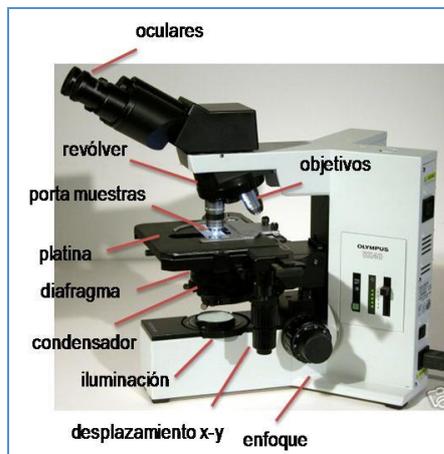


Grafico 7. Microscopio óptico. Fuente:

<http://www.micomania.rizoazul.com/microscopia%20el%20microscopio.html>

No existe una regla fija que determine el lugar a elegir. Los criterios varían. Si se estudian perfiles o barras laminadas, deben extraerse probetas de sus extremos y parte media. Una varilla de acero estirado en frío puede cortarse de tal forma que quede expuesta una sección transversal o una longitudinal, y ambas secciones variarán notablemente su aspecto. En el caso del acero es necesario evitar el calentamiento de la muestra al hacer el corte.

Si el material a examinar es un acero blando (acero al carbono recocido, aleaciones livianas), el corte se realizara con una sierra a mano y de diente grande. Mientras más blando sea el material, mas grande debe ser el diente de la sierra a utilizar, con el objeto de que la viruta se fácilmente extraída de la zona de corte, evitando que al agruparse se adhiera a la superficie a estudiar, lo que provocaría falsos resultados. ¹

¹Fuente: <http://www.micomania.rizoazul.com/microscopia%20el%20microscopio.html>

Los materiales duros (aceros aleados, templados, no ferrosos endurecidos) deben cortarse con discos abrasivos muy delgados de carborundum a altas velocidades y abundante refrigeración. Los metales frágiles como fundición blanca, aceros templados, bronce ricos en estaño, etc., pueden romperse con golpe de martillo para extraer la probeta.¹

1.5.1.2 MONTAJE.

Si la muestra que va a examinarse es lo suficientemente grande como para que pueda sujetarse bien con la mano, no es necesario montarla. Siempre que se pueda se eligen probetas de sección cuadrada de 20 x 20 mm y alturas de 20 mm de sección circular de 20 a 25 mm de diámetro y altura de 20mm.



Grafico 8. Probetas metalográficas. Fuente: Laboratorio de metalografía de la U.P.S.

No obstante la mayoría de las veces la muestra es demasiado pequeña como para que pueda sostenerse de esta forma mientras se esmerila o pule (por ejemplo un tramo de varilla, alambre, lámina),

La muestra puede encerrarse en una resina epóxica de dos compuestos, que se solidifican después de que se mezclan y vacían; asimismo pueden usarse resinas termoplásticas transparentes. Si se utiliza una resina epóxica el proceso a seguir es el siguiente:

1. La superficie de la muestra que va a examinarse, se coloca cara abajo sobre un vidrio o placa de base,
2. Luego se coloca un cilindro (pedazo de tubo PVC) de manera que este quede relativamente centrado con la probeta,

¹Fuente: <http://www.micomania.rizoazul.com/microscopia%20el%20microscopio.html>

3. Después se llena de resina epóxica ya mezclada, (masilla mezclada con secante) el cilindro, cuidando que tanto cilindro como probeta no se muevan de su posición.
4. Luego se deja secar para finalmente sacar el cilindro plástico de tal forma que la probeta quede lista para el desbaste y pulido.

1.5.1.3 DESBASTE.

1.5.1.3.1 Desbaste tosco.

Siempre que sea posible la muestra debe ser de un tamaño fácil de manipular. Una muestra blanda se puede aplanar manualmente si se mueve lentamente hacia arriba y hacia abajo a través de la superficie de una lima plana no muy gruesa, una muestra más dura puede esmerilarse en un disco abrasivo, y con abundante refrigeración ya que la muestra debe mantenerse fría (temperaturas menores a 50°C, es decir una temperatura que pueda soportar la mano) para no alterar la estructura superficial del metal. El objetivo de esta operación de desbaste es conseguir una superficie lo mas plana posible.



Grafico 9. Banco de Lijado. Fuente: Laboratorio metalografía U.P.S.

1.5.1.3.2 Desbaste medio.

El objetivo del desbaste medio es obtener una superficie plana, libre de toda huella de marcas de herramientas, y en la que todas las marcas de dicho desbaste sigan la misma dirección.

El procedimiento se lo realiza en un banco de papeles abrasivos (lijas) 220 y 320 (las instrucciones se ven más adelante). Se deben evitar presiones excesivas que calienten o distorsionen la superficie a observar. Luego, la muestra se lava y se seca antes de pasar a la próxima etapa de esmerilado.

1.5.1.3.3 Desbaste fino.

Este proceso se efectúa utilizando granos cada vez más finos de lija metalográfica para esmerilar. Se utilizan papeles de grano 320 en adelante. En nuestro caso 400 y 600. La lija se sostiene sobre una superficie plana y dura, que puede ser acero o vidrio, y la muestra se pasa sobre el papel de lija siguiendo un movimiento rectilíneo.

Cuando se termina de esmerilar con un papel de lija, las marcas deben estar todas en la misma dirección, como se indica en el grafico 9. Antes de proseguir con la siguiente lija más fina, deben lavarse la muestra como las manos del operario. Ahora la muestra debe desplazarse en forma tal que las rayas hechas por las distintas lijas formen ángulos rectos con las del inmediatamente anterior. Así, puede verse con claridad si se han eliminado las rayas más gruesas que se hicieron en la operación anterior.

El desbaste se da por terminado cuando se obtiene una cara perfectamente plana, con rayas muy finas en toda la superficie, producidas en un solo sentido, por el papel de esmeril de mayor finura. Cuando más blando es el material, mayor es la finura del grano del papel de esmeril utilizado en último término.¹

1.5.1.4 Pulido.

Se procede a hacer el pulido solo después de lavar con sumo cuidado tanto las manos como la muestra, a fin de evitar cualquier contaminación de la rueda de pulido.

Este procedimiento se basa en el uso de una rueda cubierta con una tela o paño, cargada con una suspensión de algún pulimento, en nuestro caso se utilizará alúmina (Al_2O_3 óxido de aluminio).

¹ Laboratorio de Metalografía de la U.P.S.



Grafico 10. Maquina Pulidora. Fuente: Laboratorio Metalografía U.P.S.

Al principio, la muestra se sostiene en una posición sobre la rueda, sin hacerla girar, hasta que se hayan eliminado la mayoría de las rayas anteriores. Luego puede hacerse girar con lentitud en sentido contrario al de rotación de la rueda, hasta que solo puedan verse las marcas de alúmina. La rotación de la muestra reduce a un mínimo el peligro de formación de ranuras.

La muestra se hace girar con lentitud en sentido contrario al de giro de la rueda tendiendo a obtener una superficie especular y evitando el efecto de “colas de cometa”. Si los pasos descritos se realizan debidamente, este pulido no debe requerir más de cinco minutos. Los resultados del pulido pueden mejorarse si esta última etapa de pulido se realiza sobre la rueda girando a baja velocidad.

Pulimentos:

El más utilizado es la alúmina que existe en tres formas cristalográficas α alfa β beta y γ gama de estas las más utilizadas son:



Grafico 11. Pulimentos. Fuente: Laboratorio Metalográfico U.P.S.

- **Alúmina α alfa:** su cristal es hexagonal con un tamaño de 0.3μ y una dureza de 9 Mohs.
- **Alúmina γ gama:** su cristal es cúbico con un tamaño de 0.1μ y dureza de 9 Mohs.
- En otros metales y aleaciones pueden lograrse mejores resultados si se acaba con alúmina rebajada, óxido de magnesio, pasta de diamante, o cualquier otro tipo de compuesto pulidor que se disponga a continuación se citan algunos:.
- **Polvo de diamante:** empleado en el pulido de aleaciones duras como por ejemplo: carburos sinterizados de wolframio o boro (widia) su dimensión va de 0.5 a 120μ
- **Alumndum:** es el oxido de aluminio fundido se utiliza para pulido intermedio o preliminar, su cristal tiene una dimensión de 20 a 30μ .
- **Oxido de magnesio:** *recomendado* para el pulido final de metales blandos, su cristal octaédrico, debe utilizarse con agua destilada, caso contrario forman cristales muy grandes que dificultan el pulido.

Telas o paños.

Son tejidos de fibra sintéticos cuya textura superficial depende esencialmente de la naturaleza específica de la probeta y la finalidad del examen Metalográfico, existen aquellos de pelo corto y largo (terciopelo, pana, paño de mesa de billar).



Grafico 12. Paños para pulir. Fuente: Laboratorio Metalografía U.P.S.

El estado de un paño puede catalogarse refiriéndose a la mayor o menor perpendicularidad de las fibras o cerdas con respecto a la superficie, estará en estado mejor aquel que más perpendicularidad tenga, se mejorará el estado, si es el caso, si es sumergido en agua para extraer todo el material extraño al paño. Si no se va a utilizar por un periodo largo de tiempo habrá que conservarlo en un ambiente húmedo (recipiente con agua)¹

1.6 ENSAYOS EN LOS MATERIALES.

Se denomina ensayo de materiales a toda prueba cuyo fin es determinar las propiedades mecánicas de un material. Los ensayos de materiales pueden ser de dos tipos, ensayos destructivos y ensayos no destructivos; estos últimos permiten realizar la inspección sin perjudicar el posterior empleo del producto.² Antes de analizar la dureza, es conveniente, comprender que es una norma, debido a que todos los ensayos se fundamentan en ellas.

¿Qué es una norma? ¿Para qué sirve? Según AENOR. “Una norma es un documento de aplicación voluntaria que contiene especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico. Las normas son el fruto del consenso entre todas las partes interesadas e involucradas en la actividad objeto de la misma. Además, debe aprobarse por un Organismo de Normalización Internacional reconocido. Las normas son la herramienta fundamental para el desarrollo industrial y comercial de un país, ya que sirven como base para mejorar la calidad en la gestión de las empresas, en el diseño y fabricación de los productos, en la prestación de servicios, etc., aumentando la competitividad en los mercados nacionales e internacionales.

En la actualidad existen normas para casi todo. Normas sobre la composición y características de las materias primas (plásticos, aceros, madera,...), normas sobre productos industriales (tornillos, electrodomésticos, herramientas,...), sobre productos de consumo (juguetes, mobiliario, zapatos, productos alimenticios,...), maquinaria, servicios de limpieza, etc.”³.

¹ Laboratorio de Metalografía de la U.P.S.

² http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_de_materiales

³ www.es/desarrollo/normalizacion/quees/ventajas

Durante el desarrollo de los distintos ensayos, se utilizaran diferentes normas, procurando que sean actualizadas y conocidas en el medio, entre ellas podemos mencionar: ISO, INEN, ASTM, etc.

1.6.1 Ensayos no destructivos.

Entre los ensayos no destructivos más comunes se encuentran los siguientes:

1.6.1.1 Ensayo de dureza.

En algunos casos no se considera como ensayo no destructivo, especialmente cuando puede comprometer la resistencia de la pieza a cargas estáticas o a fatiga.

1.6.1.2 Propiedades mecánicas de los materiales.

La dureza en los materiales metálicos se fundamenta en las siguientes propiedades:

- a. **COHESION:** resistencia de los átomos a separarse unos de otros.
- b. **ELASTICIDAD:** capacidad de un material de recobrar su forma primitiva cuando cesa la causa que lo deforma.
- c. **PLASTICIDAD:** capacidad de un material a deformarse. Se clasifica en:
 - **MALEABILIDAD:** facilidad a deformarse en laminas;
 - **DUCTIBILIDAD:** facilidad a deformarse en hilos.

1.6.1.3 Definiciones de dureza.

Anteriormente ya se habían expresado varias definiciones, pero legalmente, según el método a realizarse, pueden haber diferentes formas de definirla:

a) **Dureza al rayado:** resistencia que opone un material a dejarse rayar por otro.

- Dureza Mohs (mineralógica).
- Dureza Lima.
- Dureza Martens.
- Dureza Turner.

b) Dureza a la penetración: resistencia que opone un material al ser penetrado por otro más duro.

- Brinell.
- Vickers.
- Rockwell.

c) Dureza elástica: reacción elástica de un material cuando se deja caer sobre él un cuerpo más duro.

- Leeb.

d) Dureza Pendular: resistencia que opone un material a que oscile un péndulo sobre él.

1.6.1.4 DUREZA BRINELL.

Se denomina **dureza Brinell** a la medición de la dureza de un material mediante el método de indentación, midiendo la penetración de un objeto en el material a estudiar. Fue propuesto por el ingeniero sueco Johan August Brinell en 1900, siendo el método de dureza más antiguo.¹

1.6.1.4.1 Principio del Ensayo.

La Norma ISO 6506-1, es aquella que nos guía y orienta para la realización del ensayo de dureza Brinell. La misma, expresa que: “se presiona un indentador (esfera de carburo de diámetro D) contra la superficie de una probeta de ensayo y se mide el diámetro de la huella d dejada en la superficie al retirar la carga F (**grafico 13**).

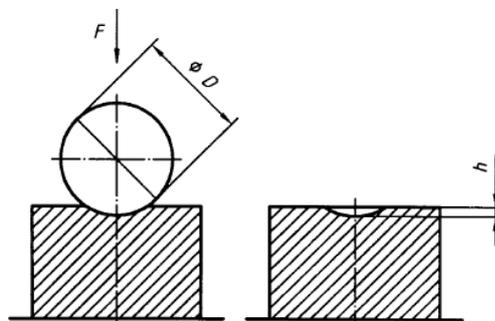


Grafico 13. Presión del indentador sobre la probeta. Fuente: Norma ISO 6506-1:1999

¹http://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Brinell

La dureza Brinell es proporcional a la relación obtenida dividiendo la carga de ensayo entre el área de la superficie curva de la huella. La huella se supone esférica con un radio correspondiente a la mitad del diámetro de la esfera de indentación”¹.

1.6.1.4.2 Símbolo y designación.

Tabla 1. Símbolos y Designaciones. Fuente: Norma ISO 6506-1:1999

Símbolo	Designación	Unidad
D	Diámetro de la esfera	mm
F	Carga de ensayo	N
d	Diámetro medio de la huella	mm
	$\left(d = \frac{d_1 + d_2}{2} \right)$	
d_1, d_2	Diámetros de huella medidos a 90°	mm
h	Profundidad de la huella	mm
	$= \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$	
HBW	Dureza Brinell	
	$= \text{Consante} \times \frac{\text{Carga de ensayo}}{\text{Área de la superficie de la huella}}$	
	$= 0,102 \times \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$	
$0,102 \times F/D^2$	Relación carga-diámetro	N/mm ²
NOTA - $\text{Constante} = \frac{1}{g_n} = \frac{1}{9,806\ 65} = 0,102$ g_n = aceleración debida a la gravedad.		

- a) La dureza Brinell se designa por HBW.
- b) Las letras HBW van precedidas por el valor de la dureza complementado por un índice que indica las condiciones de ensayo en el orden siguiente:
 - El diámetro de la esfera en mm.
 - Un número que representa la carga de ensayo (véase la Tabla 2).

¹Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinell. Parte 1: (ISO 6506-1:1999).

Tabla 2. Cargas de prueba para distintas condiciones de ensayo. Fuente: Norma ISO 6506-1:1999

Símbolo de dureza	Diámetro de esfera D mm	Relación carga-diámetro $0,102 \times F/D^2$ N/mm ²	Valor nominal de carga de ensayo F N
HBW 10/3 000	10	30	29 420
HBW 10/1 500	10	15	14 710
HBW 10/1 000	10	10	9 807
HBW 10/500	10	5	4 903
HBW 10/250	10	2,5	2 452
HBW 10/100	10	1	980,7
HBW 5/750	5	30	7 355
HBW 5/250	5	10	2 452
HBW 5/125	5	5	1 226
HBW 5/62,5	5	2,5	612,9
HBW 5/25	5	1	245,2
HBW 2,5/187,5	2,5	30	1 839
HBW 2,5/62,5	2,5	10	612,9
HBW 2,5/31,25	2,5	5	306,5
HBW 2,5/15,625	2,5	2,5	153,2
HBW 2,5/6,25	2,5	1	61,29
HBW 1/30	1	30	294,2
HBW 1/10	1	10	98,07
HBW 1/5	1	5	49,03
HBW 1/2,5	1	2,5	24,52
HBW 1/1	1	1	9,807

1.6.1.4.3 Máquina de ensayo.

La carga de ensayo predeterminada para la máquina debe estar en un rango entre 9,807N y 29,42kN.¹

1.6.1.4.4 Identador o Penetrador.

Los penetradores empleados son bolas pulidas, esféricas y sin defectos superficiales, tienen los siguientes diámetros: 10, 5, 2.5 y 1 mm.²

¹Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinell. Verificación y calibración de las máquinas de ensayo (ISO 6506-2:2006).

²Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinell. Verificación y calibración de las máquinas de ensayo (ISO 6506-2:2006).

1.6.1.4.5 Probeta de ensayo.

Según la ISO 6506-1, una probeta para ser sometida a ensayo, debe cumplir con las siguientes condiciones:

- A) Tener una superficie lisa.
- B) Libre de oxidación.
- C) Acabado superficiales aceptables.
- D) El espesor de la probeta debe ser al menos ocho veces la profundidad de la huella.

1.6.1.4.6 Procedimiento.¹

Para realizar el ensayo de dureza Brinell, de acuerdo a la Norma ISO 6506-1 se requiere tomar presente, los siguientes detalles:

- La carga de ensayo se debe elegir de forma que el diámetro de huella d quede comprendido entre los valores $0,24D$ y $0,6D$.
- La relación carga-diámetro ($0,102x F/D^2$) se debe elegir de acuerdo con el material y el ensayo de dureza como se indica en la Tabla 3.
- Se coloca la esfera de indentación en contacto con la superficie de ensayo y se aplica la carga de ensayo en dirección perpendicular a la superficie, evitando sacudidas, vibraciones o deslizamientos, hasta que la carga aplicada alcance el valor estipulado.

El tiempo entre la aplicación inicial de carga y el momento en que se alcanza la carga total de ensayo no será menor de 2s ni mayor de 8s. Se mantiene la carga de ensayo entre 10s y 15s. Para algunos materiales para los que se requiera un mayor tiempo de aplicación de la carga, este tiempo se debe aplicar con una tolerancia de $\pm 2s$.

- Para encontrar el valor de la dureza se mide el diámetro de la huella y luego se aplica la siguiente fórmula:

$$0,102x \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

¹Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinell. Verificación y calibración de las máquinas de ensayo (ISO 6506-2:2006).

Tabla 3. Relación carga – diámetro para distintos materiales metálicos. Fuente: Norma ISO 6506-1:1999

Material	Dureza Brinell HBW	Relación carga-diámetro $0,102 \times F/D^2$ N/mm ²
Aleaciones acero – níquel Aleaciones de titanio		30
Hierro fundido ^a	< 140 ≥ 140	10 30
Cobre y aleaciones de cobre	< 35	5
	35 a 200	10
	> 200	30
Metales ligeros y sus aleaciones	< 35	2,5 5
	35 a 80	10 15
	> 80	10 15
Plomo, estaño		1
Metales sinterizados	Véase la Norma ISO 4498-1	
a En ensayos de hierro fundido el diámetro nominal de la esfera debe ser 2,5 mm, 5 mm ó 10 mm.		

1.6.2 Ensayos destructivos.

Los ensayos destructivos se definen como aquellos ensayos que se realizan a un material mediante el uso de herramientas o máquinas, las cuales producen una alteración irreversible de su composición química o geometría dimensional.

1.6.2.1 Ensayo de tracción.

El ensayo de tracción permite determinar las propiedades de la tracción, es decir, resistencia a la tracción, límite elástico, alargamiento, estricción y módulo de elasticidad y por tanto las características de tenacidad y elasticidad. Esto se consigue estudiando su comportamiento frente a un esfuerzo de tracción progresivamente creciente, realizada por una máquina de ensayo, hasta la rotura. En este ensayo se pretende romper, en un período relativamente corto a una velocidad constante, una muestra de material a ensayar. La norma EN 10002-1: 2001, presenta el método para el ensayo de tracción de materiales metálicos y define las propiedades mecánica que pueden determinarse a temperatura ambiente.¹

¹norma UNE-EN 10002-1:2002, Materiales metálicos. Ensayos de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente.

El ensayo implica tensionar una muestra de ensayo de tracción, generalmente hasta la fractura, con el propósito de determinar una o más de las propiedades mecánicas. El ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente entre 10 °C y 35 °C, a no ser que se especifique otra cosa.

La fuerza aplicada sobre la probeta (material a ensayar) es registrada mediante el ordenador; al mismo tiempo se almacenan los datos referentes a la elongación y la estricción que sufre la probeta durante el ensayo.

Los resultados son almacenados y el programa de ordenador representa el diagrama esfuerzo-deformación, indicando, en el eje de ordenadas, el esfuerzo realizado y en el eje de abscisas, la deformación sufrida por la probeta.

1.6.2.1.1 MUESTRA DE ENSAYO.

La forma y dimensiones de las muestras de ensayo dependen de la forma y dimensiones del producto metálico a partir del cual se toman las muestras de ensayo.

La muestra de ensayo se obtiene normalmente mecanizando una muestra del producto o un laminado. Sin embargo, los productos de sección transversal constante y también las muestras de ensayo moldeadas pueden someterse a ensayo sin haber sido mecanizados.

1.6.2.1.2 CONDICIÓN DE ENSAYO.

Las muestras de ensayo deben sujetarse mediante instrumentos adecuados, tales como cuñas, fijaciones atornilladas, mordazas paralelas, etc. las cuales garanticen la veracidad y eficacia del mismo.

1.6.2.1.3 MÁQUINAS DE ENSAYO.

El sistema de medida de la carga de la máquina de ensayo debe calibrarse de acuerdo con la Norma ISO 7500-1 (Grafico 14).



Grafico 14. Máquina universal para ensayos.

Fuente: Laboratorio ensayo de materiales U.P.S.

1.6.2.1.4 PROCEDIMIENTO.

Para realizar el ensayo de tracción, en la Máquina de ensayo Universal, se procede de la siguiente forma.

- Selección el sistema de sujeción;
- Se coloca la probeta entre las mordazas;
- Aplicar la precarga;
- Medir la longitud entre las mordazas;
- Alimentar los datos solicitados por el software;
- Aplicar la carga (inicia el ensayo);
- Una vez producida la rotura de la probeta, medir el diámetro en la zona de estricción;
- Luego retirar la probeta e interpretar los resultados.

1.6.2.2 Ensayo de flexión.¹

El ensayo sirve fundamentalmente para determinar las características de resistencia de los materiales en el campo de las deformaciones elásticas. Puede también, ser realizada para determinar la carga correspondiente a una determinada flecha permanente o, viceversa, la flecha permanente correspondiente a una determinada carga.

El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos.

Sin embargo y por comodidad para realizar el ensayo de los distintos materiales bajo la acción de este esfuerzo se emplea generalmente a las mismas comportándose como vigas simplemente apoyadas, con la carga concentrada en un punto medio (flexión práctica u ordinaria).

En estas condiciones además de producirse el momento de flexión requerido, se superpone un esfuerzo cortante, cuya influencia en el cálculo de la resistencia del material varía con la distancia entre apoyos, debido a que mientras los momentos flectores aumentan o disminuyen con esta, los esfuerzos cortantes se mantienen constantes, como puede comprobarse fácilmente en el gráfico 15, por lo que será tanto menor su influencia cuanto mayor sea la luz entre apoyos.

Es por esta razón que la distancia entre los soportes de la probeta se ha normalizado convenientemente en función de la altura o diámetro de la misma, pudiendo aceptar entonces que la acción del esfuerzo de corte resulta prácticamente despreciable. Para ensayos más precisos la aplicación de la carga se hace por intermedio de dos fuerzas con lo que se logra “flexión pura”.

¹<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santa-fe-sur/ensayodemateriales/Ensayos/flexion.htm>

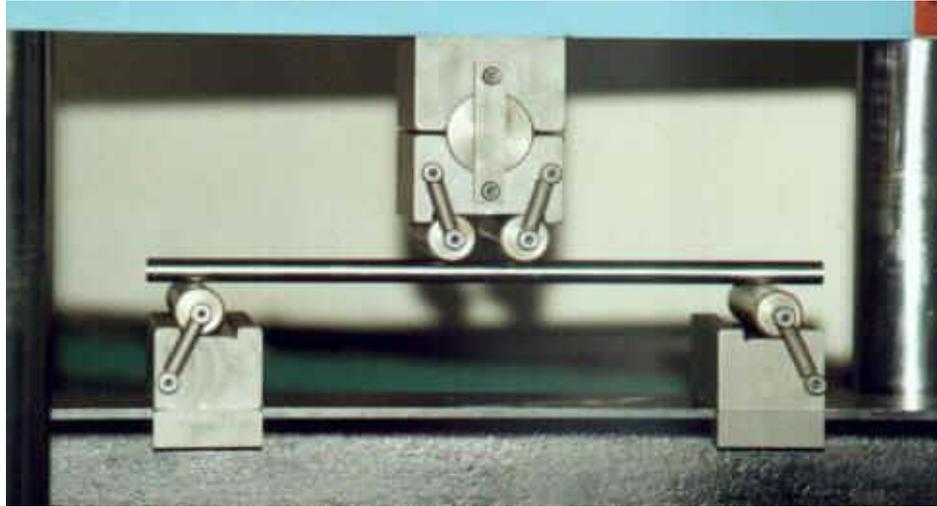


Grafico 15. Ensayo con aplicación de dos fuerzas.

Fuente:<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santa-fe-sur/ensayodemateriales/Ensayos/flexion.htm>

1.6.2.2.1 Resistencia A La Flexión.¹

La formula de la tensión será,

$$\text{Esfuerzo} = \text{Fuerza} / \text{Área}$$

$$\text{Fórmula 1. Esfuerzo a la tensión} = \sigma = F / A$$

Donde:

F: fuerza aplicada longitudinalmente (N)

A: sección transversal (m²)

El momento flector máximo en la viga es igual: (kgm)

$$\text{Fórmula 2. Momento Flector} = M_{fmax} = P \cdot (L - d) / 4$$

Siendo P la carga total, L la distancia entre apoyos y d la separación entre las cargas, si el modulo resistente Wz es:

$$Wz = p \cdot d^3 / 32$$

Remplazando en la formula que determina la tensión y considerando el momento flector máximo, obtenemos la “resistencia estática o modulo de rotura de la flexión”.

$$\sigma_{fp} = \frac{M_{fp}}{Wz} = [\text{kgmm/mm}^2]$$

¹Fuente:<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santa-fe-sur/ensayodemateriales/Ensayos/flexion.htm>

1.6.2.2.2 Flecha - Modulo De Elasticidad.

Cuando el material es sometido a la acción de la carga, la línea neutra se irá flexionando denominándose FLECHA a la distancia vertical entre la posición inicial de dicha línea y las posiciones instantáneas que tome, medidas en el lugar de mayor flexionamiento de la probeta.

1.6.2.2.3 Probetas.

Teniendo en cuenta las grandes variaciones que pueden presentar las fundiciones en las distintas coladas y según sus elementos componentes, las normas indican la forma correcta de extraer las muestras que se utilizarán en las experiencias; es así que tenemos las fundidas con la pieza; para lo cual se preparan los, lo que estarán dispuesto en condiciones tales que se evite la acumulación de impurezas en ellos y que la solidificación se realice en idénticas condiciones que la de toda la masa metálica.

1.6.2.2.4 Condiciones de ensayos.

El ensayo de flexión en metales se realiza en aquellos frágiles y muy especialmente en las fundiciones en las que, si bien no resulta el que define mejor sus propiedades mecánicas, se justifica teniendo en cuenta que las mismas se encuentran sometidas, en muchos de sus usos, a esfuerzos similares, pudiendo reemplazar en esos casos al ensayo primario de tracción. El valor de las flechas en los ensayos de verificación, suele ser un requisito a satisfacer indicándose, de acuerdo al empleo del material una máxima o mínima según que se desee su comportamiento como “flexible “o frágil.

El grafico 16 muestra dos ensayos de flexión, como vemos en el acero SAE 1045 presenta el límite a deformaciones elásticas a una carga mayor y también al suspender el ensayo se nota claramente que a igual deformación, o sea flecha, la carga es más elevada que el del SAE 1015.

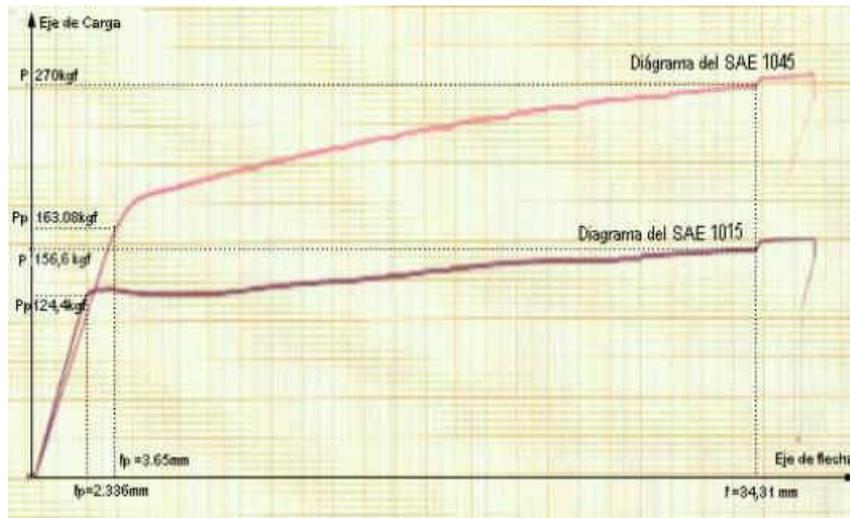


Gráfico 16. Resultados del ensayo de flexión. Fuente:
<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santa-fe-sur/ensayodemateriales/Ensayos/flexion.htm>

1.6.2.3 Ensayo de resiliencia.

El ensayo de resiliencia es un procedimiento normalizado que permite evaluar la resistencia del material frente al impacto (o resiliencia) y determinar de esta forma la energía que logra absorber una probeta al ser golpeada por un pesado péndulo en caída libre. El ensayo entrega valores en Joules y éstos pueden diferir fuertemente a diferentes temperaturas. La norma EN 10 045-1 describe el ensayo de flexión por choque sobre probetas *Charpy* (entallas en U o en V) de los materiales metálicos.

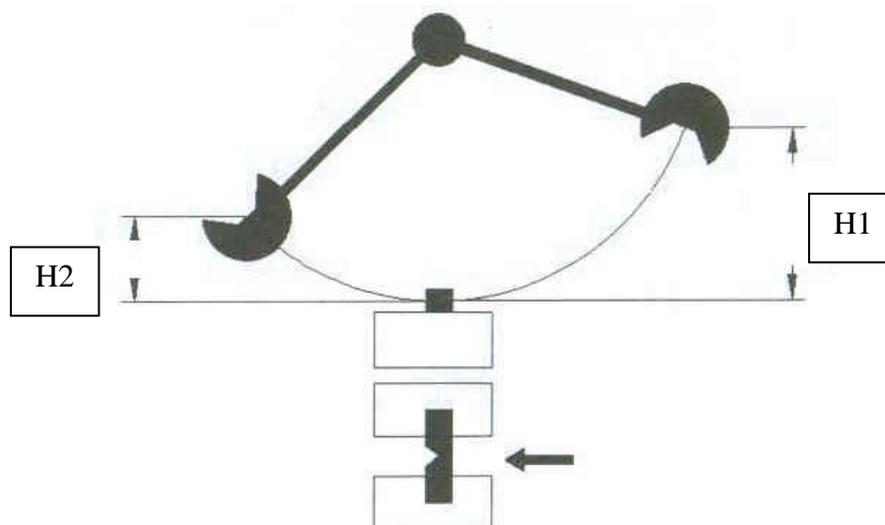


Gráfico 17. Ensayo de impacto. Fuente: norma EN 10 045.

El principio del ensayo consiste en romper en un solo golpe, con la ayuda de una masa-péndulo, cuyo martillo se mueve en una trayectoria circular, una probeta de dimensiones normalizadas, con una entalla en su punto medio, para facilitar la rotura. Se determina la energía absorbida expresada en Joules; esta energía caracteriza la resistencia al choque de los materiales.

El gráfico 17 representa el esquema de dicho ensayo, en donde, la energía potencial (mgH_1) es aquella que posee el péndulo en el punto más alto de su trayectoria antes de dejarlo caer. Esta energía potencial va transformándose en energía cinética a medida que el péndulo se acerca a la probeta y, al impactar contra ella, parte de dicha energía se emplea en el proceso de rotura y el resto la utiliza el péndulo en su movimiento de ascenso hasta alcanzar la posición final (instante en el que se detiene para continuar después el movimiento en sentido contrario). En este punto la energía potencial del péndulo es:¹

$$E_{p2} = m \cdot g \cdot H_2$$

Donde:

m = masa (kg).

g = gravedad (m/s^2) y H_2 = última altura del péndulo (mm).

Si se considera despreciable la energía disipada por rozamientos, la energía absorbida durante la rotura de la probeta será:

$$E = E_{p1} - E_{p2} = m \cdot g (H_1 - H_2)$$

$$\rho = \frac{E}{A} = \frac{m \cdot g (H_1 - H_2)}{A}$$

Donde A es la sección de la probeta utilizada en el ensayo y dependerá de su naturaleza (Charpy o Izod) y del tipo de probeta. Cada una de ellas tiene secciones normalizadas diferentes. Mientras que ρ es la resiliencia.

¹ norma UNE 7 475-1 (EN 10 045-1): Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy. Parte 1, Método de ensayo

1.6.2.3.1 PROCEDIMIENTO.

Para realizar el ensayo Charpy en la máquina METRO COM, se procede de la siguiente manera:



Grafico 18. Máquina para ensayo de impacto METRO COM. Fuente: Autores.

- **Software “DINA 240 versión 4.0”**
 - Para entrar, clic en “*tipo di prova*”;
 - Vuelta clic en “Resiliencia”;
 - Llenar el formato presentado en la pantalla; menos los dos últimos ítem;
 - Es importante indicar la temperatura de ensayo en “*Annotazioni*”;
 - Una vez llenado el formulario, se clic en “*iniziaacquisizione*”;
 - Pasar a B.

- **Módulo Sael Win 12 para Charpy**

Antes de iniciar el Ensayo:

- a) Sobre el digital aparece E1 → 0.0;
 - b) Enganchar el martillo, y pulsar F1, aparecerá: como apagado.
 - c) Colocar la probeta sobre los apoyos de la máquina, de forma que la arista de la maza golpee la cara opuesta a la entalla;
 - d) Soltar el martillo, romper la probeta y aparecerá E1energía (energía absorbida por la probeta);
 - e) Disipar la energía del martillo a través de 10 oscilaciones completas
 - f) Pulsando ENTER aparecerá A...ángulo (ángulo de resalida del martillo).
- Para imprimir los resultados
 - a) Clica en “*Stampacertificato*”;
 - b) Para salir “*Esci*”.

1.7 Metalurgia de los hierros.

1.7.1 Consideraciones de diseño de los discos de freno.

El objetivo general de la ingeniería de diseño es crear un componente que desempeñe la función deseada con eficiencia y seguridad. El objetivo último de los discos de freno es impedir que fallen mientras están en servicio, a fin de evitar un costo en vidas humanas, en primer lugar y en segundo ofrecer comodidad y las prestaciones demandadas por el cliente. Las causas de falla pueden ser por: deficiencias de diseño, de selección de materiales, de tratamiento del material, de fabricación o de montaje del disco de freno. El mejor diseño con un material erróneo o el mejor material con un diseño deficiente no producirán el rendimiento óptimo deseado.

Para hacer esta selección, es necesario conocer en detalle las características de los discos de freno en términos de sus propiedades (microestructurales, mecánicas, físicas y químicas).¹

¹Estudio De La Influencia De La Morfología Gráfica Sobre Las Propiedades Mecánicas De Los Discos De Freno Automotrices De Hierro Gris Hipereutecticos.Pág. 21

1.7.2 Diagrama de materiales.

Quizá la tarea que más tiempo consume en la selección de materiales es la recopilación de la información sobre sus propiedades a fin de cumplir con los requisitos y restricciones del diseño. Actualmente la mayor parte de los datos están disponibles en forma de software, lo cual facilita enormemente el procedimiento de selección, al menos en la etapa de diseño conceptual.

Parte de esta información se sintetiza de manera compacta en los diagramas de materiales (Grafico 19), que son gráficas de las propiedades que constituyen los factores de maximización.¹

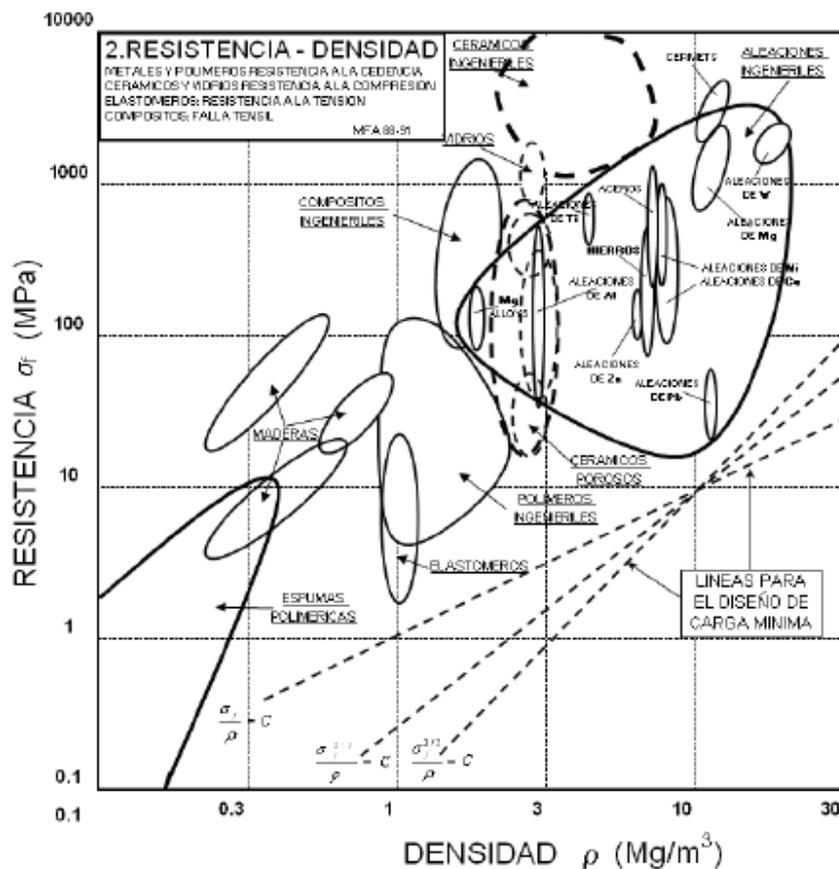


Grafico 19. Diagrama de la densidad de materiales en función de la resistencia.

Fuente: L. Mangonon, Ciencia de Materiales Selección y Diseño. Prentice, México 2001, pp429-457

¹L. Mangonon, Ciencia de Materiales Selección y Diseño. Prentice, México 2001, pp429-457.

Tabla 4. Propiedades físicas de las fases del diagrama binario del sistema Fe-C.
Fuente: Metallography, Structures and Phase Diagrams, Metals Handbook, 275-278.

Fase	Sistema cristalino	Parámetro de red cristalina	Densidad	Volumen molar	Tensión interfacial	Dureza
Austenita (γ)	C.C.C.	$a = 3.56 \text{ \AA}$	7.88 g/cm^3	$7.16 \text{ cm}^3/\text{mol}$	$2 \times 10^{-5} \text{ J/cm}^2$	200 HB
Ferrita (α)	C.C.	$a = 2.86 \text{ \AA}$	7.87 g/cm^3			80 – 90 HB
Grafito (g)	H.C.C.		2.2 g/cm^3	$5.41 \text{ cm}^3/\text{mol}$	$5 \times 10^{-5} \text{ J/cm}^2$	13 - 18 HB
Cementita (Fe_3C)	Ortorrombico	$a=4.514 \text{ \AA}$ $b=4.080 \text{ \AA}$ $c=6.734 \text{ \AA}$	7.66 g/cm^3	$23.10 \text{ cm}^3/\text{mol}$	$5 \times 10^{-5} \text{ J/cm}^2$	800 HB

1.7.4 Propiedades mecánicas y físicas de los hierros.

Las principales propiedades ingenieriles y físicas para los hierros son las siguientes: esfuerzo tensil, el módulo de elasticidad, facilidad a la maquinabilidad, dureza, esfuerzo al impacto, resistencia a la fatiga, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión y abrasión. Dependiendo de las propiedades buscadas cada parte se somete a las pruebas pertinentes para cada propósito. Dentro de la industria automotriz el uso de técnicas y estándares ya establecidos facilitan el diseño de cada componente. Las Normas más usuales para este tipo de industria son la ASTM, AFS, SAE, BRITISH STANDARD, etc.; entre las más importantes se puede referenciar a las de la ASTM (American Standard Testing Materials).

En la tabla 5, se muestran los principales grados de hierros para la industria automotriz y en las tablas 6 y 7 se muestran las durezas de los hierros grises laminares en función de su microestructura y la capacidad al amortiguamiento a las vibraciones (DAMPING) para algunas aleaciones ferrosas.¹

¹Krause, D.E., "Gray Iron-A Unique Engineering Material" Gray, Ductile, and Malleable Iron Castings-Current Capabilities, ASTM STP 455, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1969, pp. 3-28

Tabla 5. Grado de hierros grises automotrices para propósitos de diseño por SAE J431.

Fuente: Krause, D.E., “Gray Iron-A Unique Engineering Material” Gray, Ductile, and Malleable Iron Castings-Current Capabilities, ASTM STP 455, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1969, pp. 3-28.

Grado SAE	Dureza HB	Esfuerzo máximo tensil		Otros requerimientos
		(psi)	(MPa)	
G1800	187 máx.	18000	124	
G2500	170-229	25000	173	
G2500**	170-229	25000	173	3.4% de carbono mínimo y microestructura especificada.
G3000	187-241	30000	207	
G3500	207-255	35000	241	
G3500b**	207-255	35000	241	3.4% de carbono mínimo y microestructura especificada.
G3500c**	207-255	35000	241	3.4% de carbono mínimo y microestructura especificada.
G4000	217-269	40000	276	

**** Para aplicaciones tales como discos y tambores de freno, platos de embragues resistentes a choques térmicos.**

Tabla 6. Rangos de dureza para diferentes hierros grises.

Fuente: Krause, D.E., “Gray Iron-A Unique Engineering Material” Gray, Ductile, and Malleable Iron Castings-Current Capabilities, ASTM STP 455, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1969, pp. 3-28.

Tipo de hierro gris	Microestructura	Dureza HB
Recocido suave	Ferrítico total	110-140
Ordinario	Perlítico-ferrítico	140-200
Alto esfuerzo	Perlita fina	200-270
Aleación acicular	Bainita	260-350
Austenítico	Austenita	140-160
Endurecido por tratamiento térmico	Martensita	480-550
Endurecido y templado	Martensita templada	250-450
Templado (hierro blanco)	Perlita y carburos	400-500

Tabla 7. Capacidad relativa a la absorción del vibrado (Damping) para algunos materiales.

Fuente: Krause, D.E., “Gray Iron-A Unique Engineering Material” Gray, Ductile, and Malleable Iron Castings-Current Capabilities, ASTM STP 455, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1969, pp. 3-28.

Material	Absorción del vibrado x 10 ⁻⁴
Hierro blanco	2 - 4
Hierro maleable	8 - 15
Hierro dúctil	5 - 20
Hierro gris con hojuelas finas	20 - 100
Hierro gris con hojuelas gruesas	100 - 500
Acero eutectoide	4
Hierro Armco	5
Aluminio	0.4

1.7.5 Morfología y distribución de las hojuelas de grafito en los hierros grises.

Las grandes hojuelas de grafito interrumpen seriamente la continuidad de la matriz perlítica, reduciendo de esta manera la resistencia y la ductilidad del hierro gris. Las pequeñas hojuelas de grafito son menos dañinas y por lo tanto, generalmente se prefieren. La distribución gráfica está clasificada en 6 tipos señaladas con las letras de la A a la F como lo muestra el grafico 21.¹

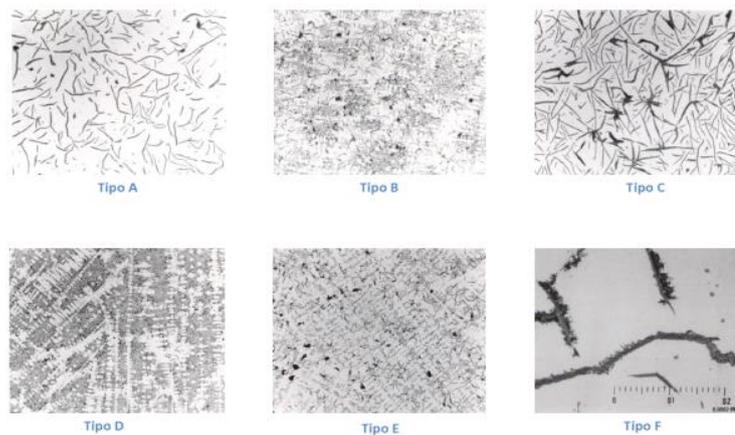


Grafico 21. Distribución del grafito según ASTM A 247.

Fuente: Norma ASTM A 247 Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings.

¹Norma ASTM A 247 Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings.

Distribución del grafito según ASTM A 247.

- Tipo A. La distribución del grafito se caracteriza por una distribución uniforme de las hojuelas y sin una orientación ordenada.
- Tipo B. La distribución del grafito se caracteriza por formar grupos de rosetas y sin una orientación ordenada.
- Tipo C. La distribución del grafito se caracteriza por hojuelas grandes superpuestas entre si y sin una orientación ordenada.
- Tipo D. La distribución del grafito se caracteriza por presentar segregación interdendrítica y sin una orientación ordenada.
- Tipo E. La distribución del grafito se caracteriza por presentar segregación interdendrítica y con una orientación preferida

Los tamaños se señalan con números del 2 al 7 para hierro gris en el grafico 22.

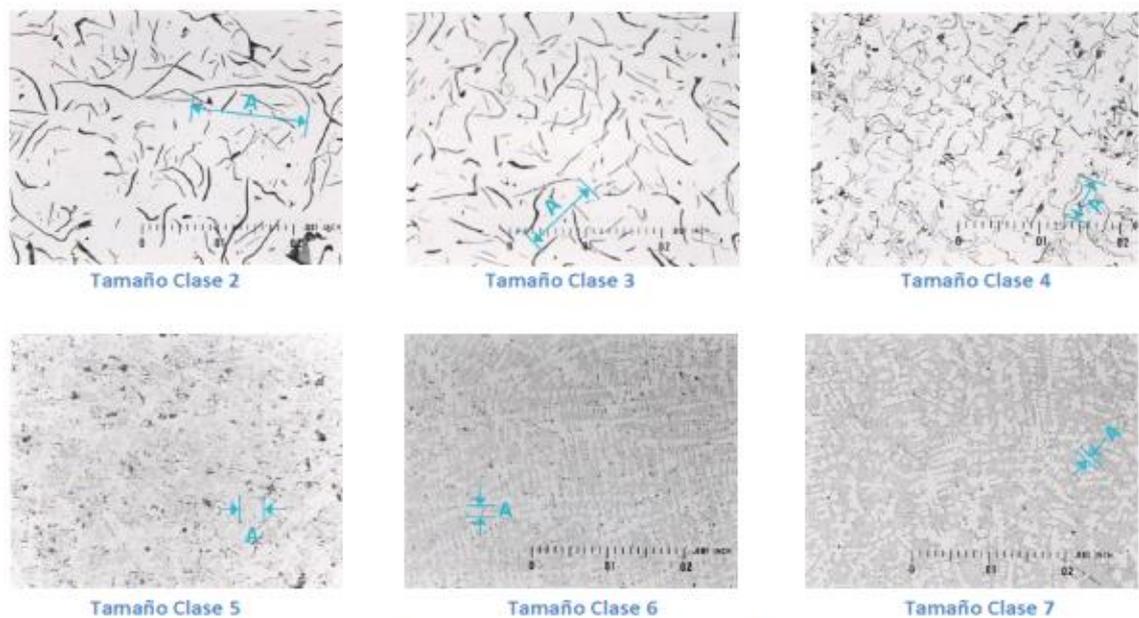


Grafico 22. Tamaños de hojuelas de grafito según ASTM A 247.

Fuente: Norma ASTM A 247 Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings.

Tabla 8. Tamaño de las hojuelas en mm según ASTM A 247.

Fuente: Norma ASTM A 247 Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings.

Tamaño Clase	A (mm)
2	40
3	27
4	14
5	7
6	3.5
7	2

Los tamaños de las hojuelas de grafito generalmente se determinan por comparación visual de los tamaños estándar preparados conjuntamente por la norma ASTM A 247 y están mencionados en la tabla 9.

Tabla 9. Longitud de las hojuelas de grafito a 100x, de acuerdo a la ASTM A-247.

Fuente: Norma ASTM A 247 Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings.

Tamaño Clase	Máxima dimensión a 100x A (mm)
1	128
2	64
3	32
4	16
5	8
6	4
7	2
8	1

1.7.6 Influencia de los elementos aleantes en los hierros grises.¹

El hierro que contiene otros elementos además del C, Si, Mn, P y S, se le denomina hierro aleado. Los hierros normalmente se alean con los siguientes elementos: Cr, Ni, Mo, Sn, Cu, V, Ti y Al. En muchos hierros la interacción con la cantidad de los elementos aleantes incluyendo el silicio y el carbono tienen grandes efectos en sus propiedades. Esta influencia es tan grande como la cantidad, forma y tamaño de las hojuelas de grafito presentes en los hierros.

El balance del carbono y silicio y la adición de otros elementos pueden únicamente modificar la tendencia básica establecida por la relación carbono-silicio. En general, únicamente pequeñas cantidades de elementos aleantes son necesarios para mejorar la profundidad al temple, dureza y resistencia.

1.7.6.1 Carbono en el hierro fundido.²

A medida que aumenta la cantidad de carbono aumenta la posibilidad de obtener grafito tipo A, también aumenta el número de granos eutécticos y disminuye la cantidad de austenita en el hierro aumentando la tendencia a la grafitización primaria.

1.7.6.2 Silicio en el hierro fundido.

El silicio incrementa la fluidez y tiene efecto sobre la solidificación de la aleación fundida. La composición eutéctica se mueve a la izquierda (aproximadamente 0.30% de carbono por cada 1% de silicio), lo cual abate efectivamente la temperatura a la cual la aleación empieza a solidificar. Conforme aumenta el contenido de silicio, disminuye el área de campo de la austenita, el contenido de carbono eutectoide decrece y la transformación eutectoide ocurre sobre un intervalo que se amplía. El silicio es un grafitizante y si no está contrabalanceado por los elementos de promoción de carburos, favorece la solidificación de acuerdo con el sistema estable Fe-C.

¹Bates, C. "Effect of alloy elements on the strength and microstructure of gray cast iron", AFS Transactions (1984), V. 92, p 923.

²Bates, C. "Effect of alloy elements on the strength and microstructure of gray cast iron", AFS Transactions (1984), V. 92, p 923.

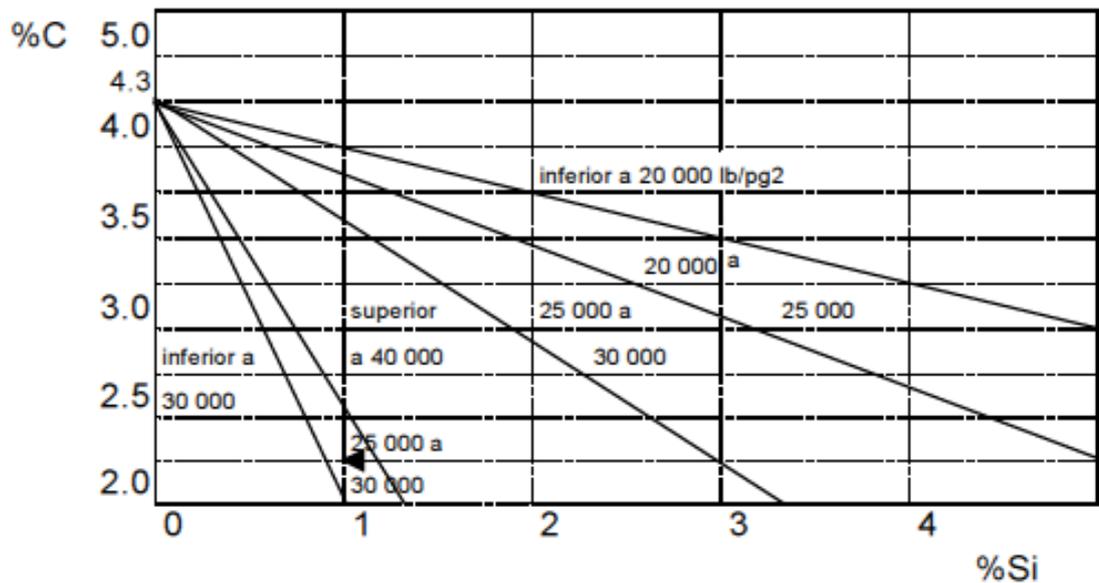


Grafico 24.

Tamaños Relación de la resistencia tensil entre el contenido de carbono y silicio de un hierro.

Fuente: Sydney H. Avner, *Introducción a la Metalurgia Física*, 2° Ed. Edit. Mc Graw Hill, pp433-446.

1.7.6.3 Azufre en el hierro fundido.

El efecto del azufre es el contrario que el silicio, actúa como antigrafitizante. A mayor cantidad de azufre mayor será la cantidad de carbono combinado, tendiendo de esta manera a producir un hierro blanco, duro y frágil. El azufre reacciona con el hierro formando FeS, este compuesto de bajo punto de fusión presenta delgadas capas interdendríticas y aumenta la posibilidad de que haya fisuras a altas temperaturas (fragilidad al rojo). El azufre en grandes cantidades tiende a reducir la fluidez y suele causar cavidades (aire atrapado) en las piezas fundidas.

Con valores de 0.05% a 0.10% de azufre, existe un incremento en el grado de subenfriamiento (ΔT), el número de granos eutécticos (N) y la distancia entre las laminillas de grafito (λ). Lo cual significa, que también aumenta la longitud de estas laminillas y disminuye la probabilidad de obtención de grafito tipo D. Debido al aumento de ΔT , la probabilidad de la solidificación de la fundición según el sistema metaestable (Fe-Fe₃C), también aumenta, ya que el contenido de azufre presente normalmente tiene un efecto muy pequeño sobre las temperaturas.¹

¹Sydney H. Avner, *Introducción a la Metalurgia Física*, 2° Ed. Edit. Mc Graw Hill, pp 433-446

1.7.6.4 Manganeso en el hierro fundido.¹

El exceso de manganeso tiene poco efecto en la solidificación y sólo retarda débilmente la grafitización primaria; sin embargo, sobre la grafitización eutectoide, el manganeso es un fuerte estabilizador de carburos, que tiende a incrementar la cantidad de carbono combinado, pero es mucho menos potente que el azufre. El manganeso se combina con el azufre produciendo sulfuros de manganeso (MnS), que da lugar a gránulos muy duros y abrasivos. Los contenidos máximos de sulfuro de manganeso deben ser menores a 1%.

A medida que aumenta el contenido de manganeso, disminuye el número de celdas eutécticas, aumentando el grado de subenfriamiento disminuye la longitud del grafito sobre la muestra metalográfica y aumenta la tendencia a la formación de grafito tipo D y la matriz perlítica.

1.7.6.5 Cobre en el hierro fundido.²

El cobre favorece la formación de grafito durante la solidificación. La solubilidad del cobre en las fases sólidas del hierro, se encuentran entre 0.15 a 3.5%, el cobre da buena maquinabilidad al hierro.

1.7.6.6 Fósforo en el hierro fundido.³

El fósforo se combina con el hierro para formar fosfuro de hierro (Fe₃P), el cual constituye un eutéctico ternario con la cementita y la austenita (perlita a temperatura ambiente). El eutéctico primario se conoce como esteadita y es una característica normal en la microestructura de los hierros fundidos. La esteadita es relativamente frágil y con alto contenido de fósforo, en tanto que las áreas de esteadita tienden a formar una red continua, delineando las dendritas primarias de austenita. La condición reduce la tenacidad y hace frágil al hierro fundido, de manera que el contenido de fósforo debe controlarse cuidadosamente para obtener propiedades mecánicas óptimas.

¹ Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. Mc Graw Hill, pp 433-446

² Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. Mc Graw Hill, pp 433-446

³ Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. Mc Graw Hill, pp 433-446

1.7.6.7 Cromo en el hierro fundido.¹

El cromo es un elemento que favorece fuertemente la formación de carburos durante la solidificación del hierro y la matriz perlítica durante la transformación eutectoide.

A demás, a medida que aumenta el contenido de cromo, la zona austenítica disminuye, y cuando esta fase desaparece completamente, la formación eutectoide no es posible y se obtiene una matriz ferrítica aleada. El cromo aumenta la dureza y la resistencia a la tensión del hierro gris.

1.7.6.8 Níquel en el hierro fundido.²

El níquel es un elemento que facilita la formación de grafito y de perlita, aumenta la dureza y la resistencia a la tensión del hierro.

1.7.6.9 Molibdeno en el hierro fundido.³

El molibdeno es un elemento refinador de perlita, puesto que disminuye su espacio interlaminar. Esto provoca un aumento sustancial de la dureza de esta fase, mejorando la resistencia a la tensión del hierro.

1.7.6.10 Estaño en el hierro fundido.⁴

El estaño no influye sobre la formación de carburos durante la solidificación. Es un elemento que elimina fuertemente la ferrita en la estructura del hierro, aumentando así la fineza de la perlita, lo cual mejora las propiedades mecánicas del hierro. La influencia del estaño sobre la estructura y propiedades mecánicas es casi 10 veces menos fuerte que el cobre.

¹Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. McGraw Hill, pp433-446

² Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. McGraw Hill, pp433-446

³ Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. McGraw Hill, pp433-446

⁴ Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. McGraw Hill, pp433-446

1.7.6.11 Vanadio en el hierro fundido.¹

Influye sobre la estructura del hierro de manera semejante al cromo y al molibdeno. A medida que aumenta su contenido en el hierro, también aumenta la tendencia al temple y la fracción de perlita, además es un fuerte refinador de perlita.

1.7.6.12 Aluminio en el hierro fundido.²

Este elemento en contenidos hasta 2% disminuye las propiedades mecánicas del hierro gris, disminuyendo simultáneamente la tendencia del hierro al temple.

A contenidos mayores, forma carburos aumentando la dureza del hierro y su fragilidad.

1.7.6.13 Otros elementos.³

El plomo aumenta la dureza y disminuye la resistencia a la tensión del hierro, similarmente influye también el bismuto. El wolframio (tungsteno) similarmente como el molibdeno, aumenta las propiedades mecánicas del hierro gris.

¹Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. McGraw Hill, pp 433-446

² Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. McGraw Hill, pp 433-446

³ Sydney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, 2° Ed. Edit. McGraw Hill, pp 433-446

CAPITULO 2

2.1 DETERMINACION DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO.

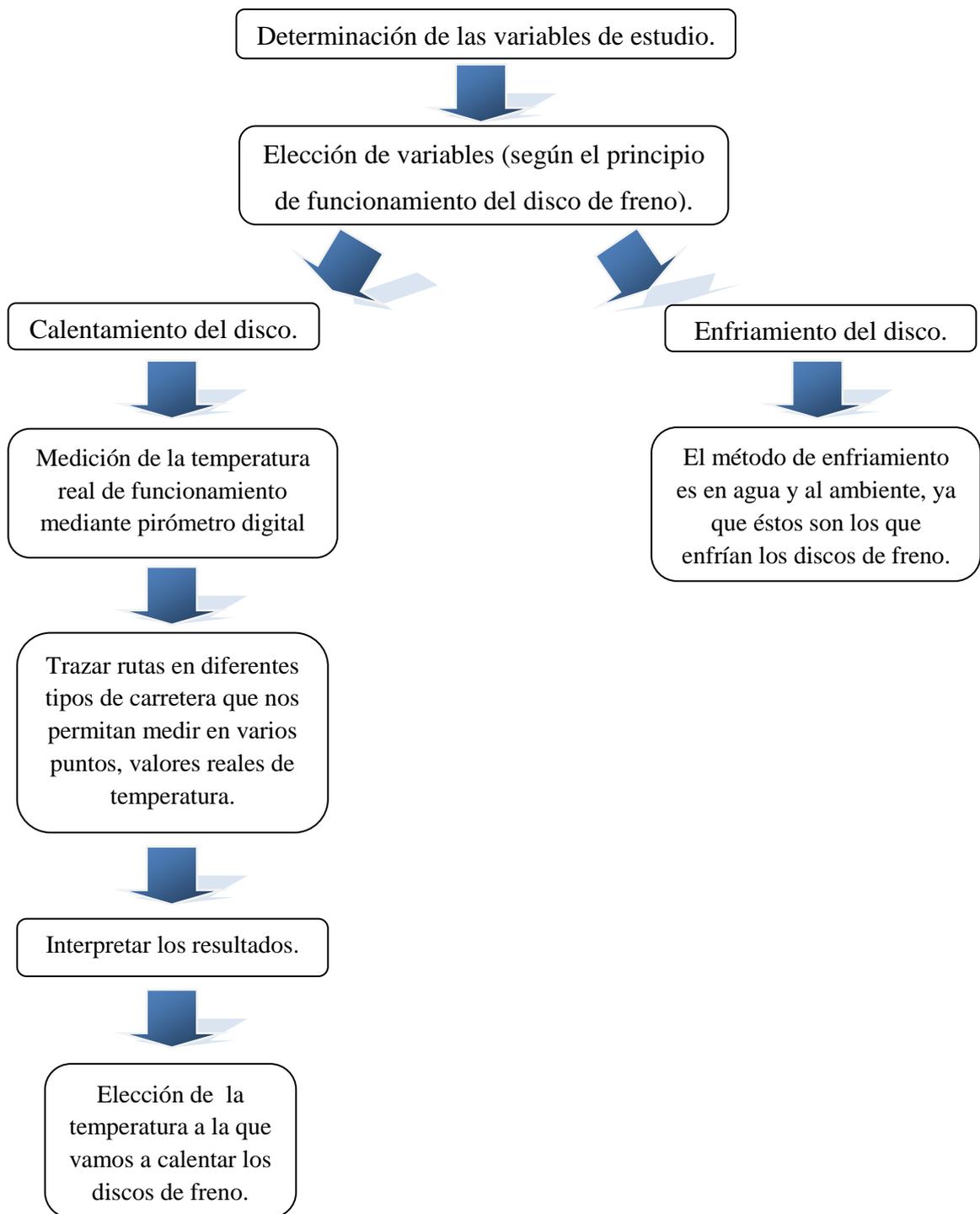


Grafico 25. Esquema de la determinación de las variables de estudio.

Fuente: Los autores.

2.2 Diseño de rutas.

Se trazo dos rutas, una dentro de la ciudad de Cuenca y la otra por las afueras de la misma designando puntos clave para la medición de la temperatura.

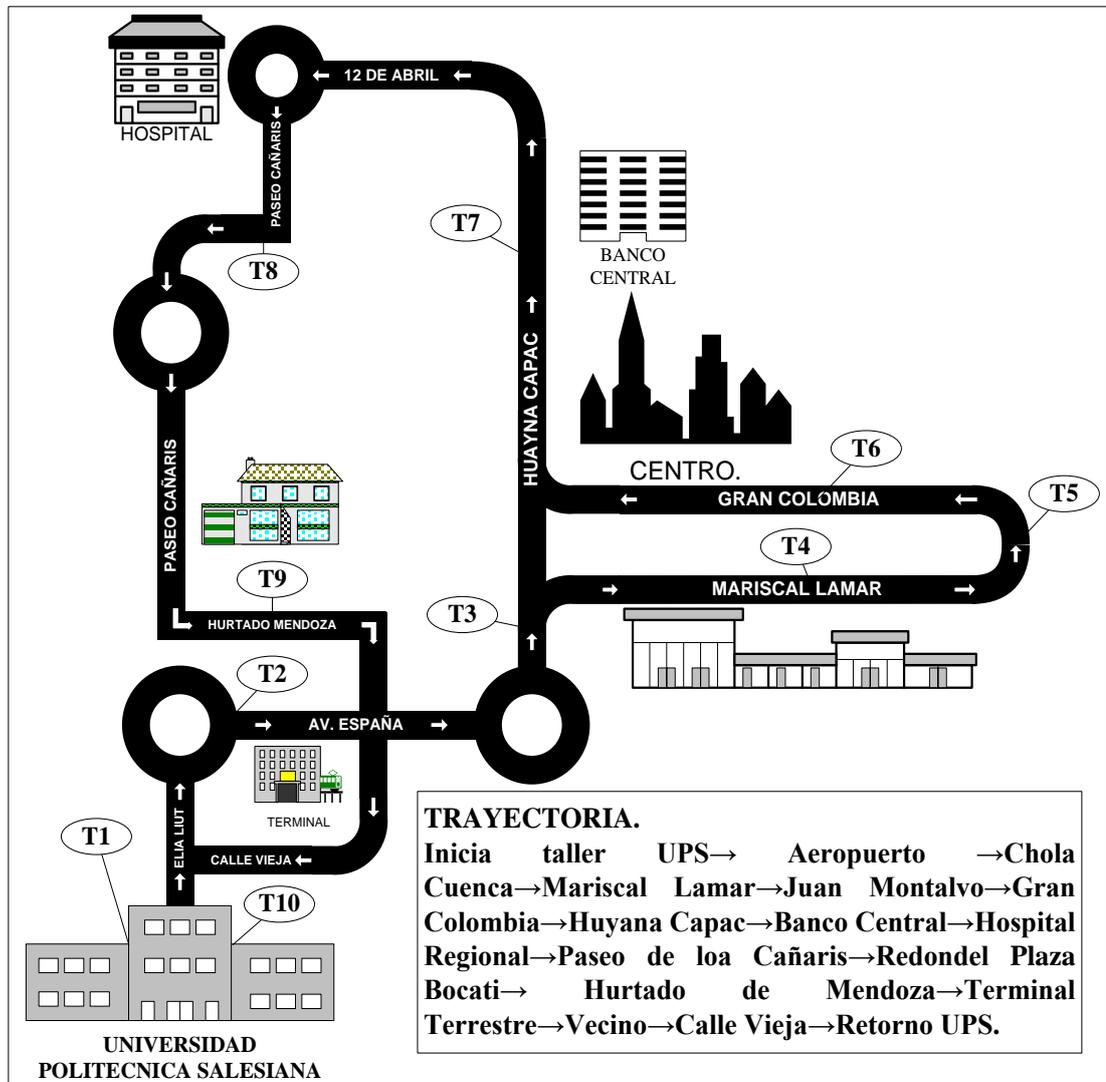


Grafico 26. Ruta A dentro de la Ciudad de Cuenca.

Fuente: Los Autores.

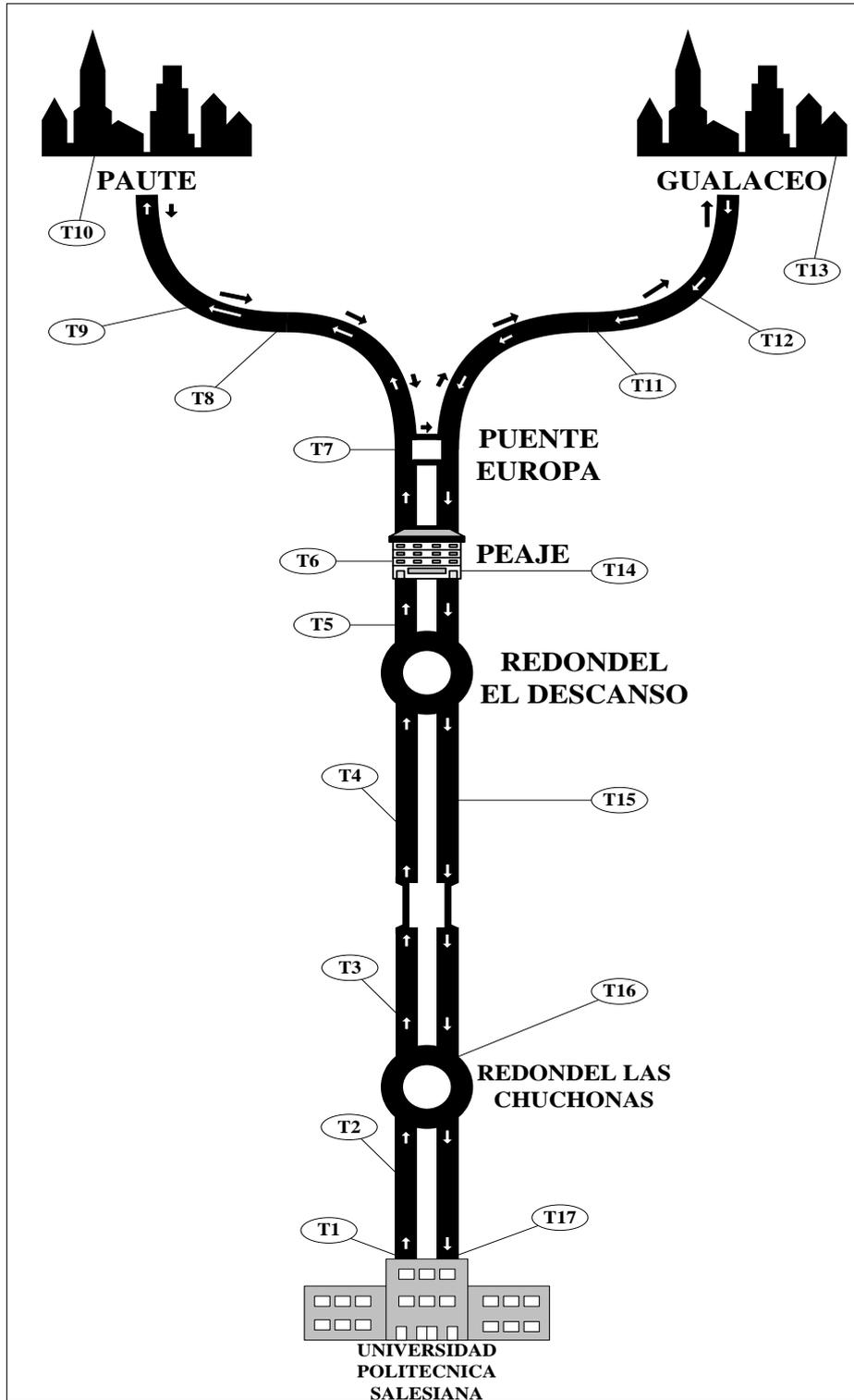


Grafico 27. Ruta B por las afueras de la Ciudad de Cuenca (Cuenca, Paute, Gualaceo, Cuenca)

Fuente: Los Autores.

2.3 Desarrollo del proceso de medición.

El proceso de medición se lo realizó con el propósito de determinar si los discos de freno trabajan a temperaturas máximas de funcionamiento y determinar una temperatura media que sirva de guía para realizar el estudio, de la siguiente manera:

- a. Para este proceso se utilizó un pirómetro, el cual nos indicaba el valor de temperatura al momento que llegamos cada punto establecido como se indica en el gráfico 28.
- b. Apuntamos el laser del pirómetro hacia la parte del disco que queda visible para poder medir la temperatura del disco en ese instante y así procedemos en los varios puntos de las rutas trazadas.
- c. Las rutas se las recorrió una vez por día por tres y dos días respectivamente para poder calcular la temperatura media deseada.



Gráfico 28. Medición de la temperatura con pirómetro.

Fuente:<http://www.circulaseguro.com/seguridad-pasiva/como-ha-evolucionado-la-seguridad-de-los-coches-en-40-anos-ii>

A continuación se detallan las temperaturas medidas.

Tabla 10. Ruta A dentro de la Ciudad de Cuenca.

Fuente. Los Autores.

DIA 1	
VEHICULO:	CHEVROLET AVEO
HORA INICIO:	12:15
HORA FINAL:	12:50
KILOMETRAJE INICIO:	29179
KILOMETRAJE FINAL:	29191
km recorridos:	12
FECHA:	11/01/2011
TEMPERATURAS	
T1°C	30,00
T2°C	35,50
T3°C	41,00
T4°C	41,50
T5°C	51,50
T6°C	55,50
T7°C	57,00
T8°C	60,00
T9°C	69,50
T10°C	55,50
Tpromedio	49,70
Tmediana	53,50

Tabla 11. Ruta A dentro de la Ciudad de Cuenca.

Fuente. Los Autores.

DIA 2	
VEHICULO:	CHEVROLET AVEO
HORA INICIO:	12:15
HORA FINAL:	12:50
KILOMETRAJE INICIO:	29249
KILOMETRAJE FINAL:	29261
km recorridos:	12
FECHA:	12/01/2011
TEMPERATURAS	
T1°C	29,00

T2°C	32,50
T3°C	37,50
T4°C	34,50
T5°C	36,50
T6°C	35,50
T7°C	40,00
T8°C	60,00
T9°C	43,50
T10°C	55,50
Tpromedio	40,45
Tmediana	37,00

Tabla 12. Ruta A dentro de la Ciudad de Cuenca.

Fuente. Los Autores.

DIA 3	
VEHICULO:	CHEVROLET AVEO
HORA INICIO:	12:15
HORA FINAL:	12:50
KILOMETRAJE INICIO:	29327
KILOMETRAJE FINAL:	29339
km recorridos:	12
FECHA:	13/01/2011
TEMPERATURAS	
T1°C	25,00
T2°C	32,50
T3°C	43,00
T4°C	37,00
T5°C	39,50
T6°C	43,00
T7°C	52,00
T8°C	58,00
T9°C	54,00
T10°C	62,00
Tpromedio	44,60
Tmediana	43,00

Tabla 13. Ruta B en las afueras de la Ciudad de Cuenca (Cuenca, Paute, Gualaceo, Cuenca).

Fuente Los Autores.

DIA 1	
VEHICULO:	CHEVROLET AVEO
HORA INICIO:	14:45
HORA FINAL:	17:00
KILOMETRAJE INICIO:	29402
KILOMETRAJE FINAL:	29450
km recorridos:	48
FECHA:	14/01/2011
TEMPERATURAS	
T1°C	45,50
T2°C	50,00
T3°C	62,50
T4°C	47,50
T5°C	52,50
T6°C	72,50
T7°C	46,50
T8°C	46,00
T9°C	41,50
T10°C	53,50
T11°C	42,50
T12°C	45,00
T13°C	95,50
T14°C	54,00
T15°C	58,50
T16°C	79,50
T17°C	56,50
Tpromedio	55,85
Tmediana	52,50

Tabla 14. Ruta B en las afueras de la Ciudad de Cuenca (Cuenca, Paute, Gualaceo, Cuenca).

Fuente Los Autores.

DIA 2	
VEHICULO:	CHEVROLET AVEO
HORA INICIO:	14:45
HORA FINAL:	17:00
KILOMETRAJE INICIO:	29455
KILOMETRAJE FINAL:	29503

km recorridos:	48
FECHA:	15/01/2011
TEMPERATURAS	
T1°C	40,00
T2°C	55,00
T3°C	60,00
T4°C	50,00
T5°C	51,50
T6°C	73,00
T7°C	47,00
T8°C	46,50
T9°C	42,00
T10°C	52,50
T11°C	42,00
T12°C	46,50
T13°C	96,50
T14°C	54,50
T15°C	598,00
T16°C	80,00
T17°C	56,00
Tpromedio	87,71
Tmediana	52,50

Una vez concluido este proceso y obteniendo valores de **Tpromedio = 49,33°C** y **Tmediana = 52,50°C**. La temperatura normal y máxima de funcionamiento de los discos de freno dependen de:

- La forma de manejo. (Cuantas veces se presiona y cuanto tiempo se mantiene presionado el pedal del freno).
- La distancia recorrida.
- El material del disco y de la pastilla de freno.
- El estado de los elementos.

Las temperaturas promedio y mediana encontradas no son relevantes para que el disco sufra algún cambio estructural, por eso necesitamos la temperatura máxima de funcionamiento del disco de freno, la cual se justifica a continuación.

2.4 Determinación de la temperatura máxima de funcionamiento.

Según información obtenida en AUTOCITY (<http://www.autocity.com/documentos-tecnicos/?codigoDoc=177>), se justifica la temperatura máxima de funcionamiento de los discos de freno en el siguiente texto:

“Después de someter al sistema de freno a condiciones extremas durante 210 kilómetros en la pista de pruebas de Can Padró, equivalente al esfuerzo y trabajo que realiza un vehículo después de recorrer una distancia de unos 10.000 Km, por una geografía mixta (carretera/autopista) y con una conducción normal, se obtuvieron los siguientes datos técnicos:”¹

Temperatura máxima de trabajo del freno cercana a los 350°C.

La acumulación de gases, producidos por el calentamiento del disco y el rozamiento con la pastilla, disminuyen la eficacia y el coeficiente de fricción.”¹

2.5 Conclusión del proceso de medición.

La temperatura máxima de 350°C si va producir cambios estructurales en el disco, ideales para el estudio y se ha decidido el siguiente proceso para el posterior análisis:

- a.** La medición de la temperatura no fue muy complicada porque se lo realizo con el pirómetro ya que apuntamos al disco y nos indica la temperatura requerida en ese punto.
- b.** Las rutas se las realizo a una hora determinada en la cual eran óptimas para nuestro análisis de medición.
- c.** Con las temperaturas se realizo un análisis estadístico, en la cual las temperaturas obtenidas no eran muy elevadas para que el disco sufra algún cambio estructural.
- d.** Como las temperaturas eran muy bajas el disco de freno no sufría ningún cambio estructural; por tal motivo se utilizó la temperatura máxima de funcionamiento de 350°C para el análisis del comportamiento del disco de freno.

¹ <http://www.autocity.com/documentos-tecnicos/?codigoDoc=177>

CAPITULO 3

3. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS.

En este capítulo se va a explicar y desarrollar los ensayos que se utilizara para realizar el análisis del comportamiento del material del disco de freno de un Chevrolet Aveo cuando está sometido a diversas temperaturas.

3.1 Corte por chorro de agua.

La presión del chorro de agua es otra de las características más importantes del proceso, es aportada por un sistema de una bomba dotada con un intensificador de ultra presión que hacen que ésta pueda llegar hasta 4000 bares de presión, dependiendo del objeto de trabajo existe la opción de trabajar a menos presión sobre unos 2000 bares o incluso trabajar sin el abrasivo, pero esto se utiliza en materiales de poca dureza que no necesitan del abrasivo para ser cortadas o con el fin de trabajar piezas que solo quieran ser marcadas.

Pero por lo general se trabaja en altas presiones como la de 4000 bares, a pesar de que muchas veces no es necesario por el espesor a cortar, ya que con mucha menos presión se realizaría el mismo corte y con las mismas condiciones, pero lo que hace que se trabaje normalmente a máxima presión es el hecho de agilizar el proceso ya que esto le aporta más rapidez al corte, el corte puede ir desde minutos a horas.

La velocidad de corte es de máxima importancia, y esta dependerá de factores como la presión de la bomba y la capacidad del intensificador, diámetro de la tobera, cantidad y calidad de abrasivo y del espesor de la pieza. En referencia a valores de velocidad se puede indicar que todo este sistema de aporte de presión permite que el líquido salga por el orificio a una velocidad de 1000 metros por segundo.

El motivo de añadirle abrasivo al agua es debido a que un simple chorro de agua no sería capaz de desarrollar cortes como los actuales en los materiales más duros, por ello se le aporta este abrasivo, mezcla de arcillas y vidrios, que dota al sistema de un aumento de posibilidades de corte infinito.

En relación al espesor de la pieza a cortar cabe decir que sirve desde 5 mm, que es cuando empezaría a ser rentable usar este método, hasta espesores de 200 mm en cualquier material, llegando incluso a los 400 mm usando eso si aplicaciones especiales.

Como se explico, esto va en función del tipo de material, pudiéndose dar el caso que con un chorro a 4000 bares y con abrasivo, se puede cortar fácilmente corcho de dos metros de espesor.¹

3.2 Equipo que posee la máquina de corte.

PC, se encuentra en la oficina técnica y es donde se realiza el diseño de la pieza.

PC de taller, centro logístico donde se reciben las ordenes del PC de oficina y aquí es donde se ejecuta la orden de trabajo directamente sobre la máquina de corte por agua.

Bolsa de agua, es el lugar donde se realiza el trabajo de mecanizado, generalmente de unas dimensiones aproximadas de cuatro metros de largo por tres metros de ancho.



Grafico 29. Bolsa de Agua. Fuente: Autores.

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Corte_con_chorro_de_agua

Boquilla por la que sale el chorro de agua.



Grafico 30. Boquilla.

Fuente: Autores.

Centro de refrigeración, se utiliza para que todo este sistema mecánico utilizado para realizar el mecanizado no sufra de sobrecalentamiento, ya que sin este elemento la máquina se quemaría. La bomba mueve el refrigerante almacenado en los dos depósitos contiguos.



Grafico 31. Centro de Refrigeración.

Fuente: Autores.

Deposito abrasivos, es un depósito exterior desde el cual se añade el abrasivo al agua, ya que sin este no se podría realizar el corte.



Grafico 32. Deposito de Abrasivos.

Fuente: Autores.

Descalcificador, utilizado para evitar la obstrucción de las tuberías.



Grafico 33. Descalcificador. Fuente:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:IMG4153.JPG?uselang=es>

Depuradora de abrasivos, una vez el fluido de corte mecaniza la pieza y se deposita en la balsa, es necesario de una depuradora situada en la base de la balsa que separa el abrasivo del agua, almacenando en este gran saco situado al lado de la balsa, para poder ser reutilizado de nuevo y de esta manera reducir los costes.



Grafico 34. Depurador de Abrasivos. Fuente:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:IMGP4156.JPG?uselang=es>

3.3 Proceso.

Para el corte del disco de freno se hace el diseño en AUTOCAD con las medidas reales del disco y se distribuyen las probetas de tal forma que se pueda aprovechar la mayor superficie del disco tal como se indica en el grafico 35.

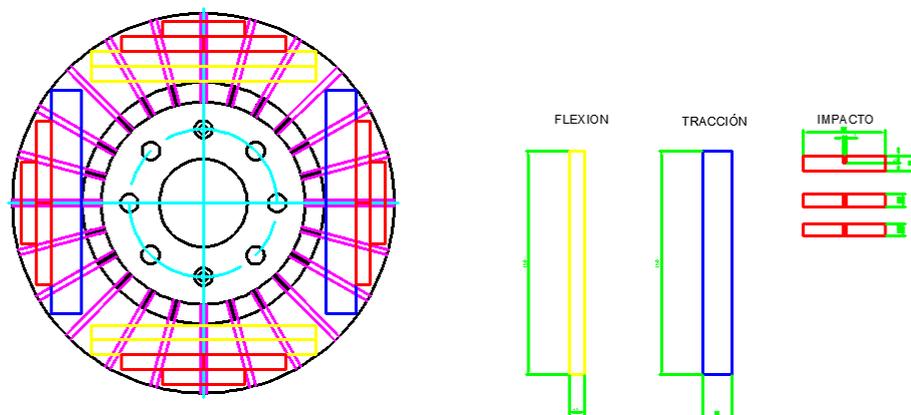


Grafico 35. Trazado de las probetas en el disco de freno.

Fuente: Autores.

A continuación se lleva el dibujo a la oficina técnica donde se realiza una simulación del corte colocando en el software las rutas que debe de tomar según el diseño de la probeta, las medidas, el espesor y el tipo de material a cortar.



Grafico 36. Software de simulación y proceso de corte.

Fuente: Autores.

Una vez almacenado en la base de datos de la computadora, se abre el archivo directamente en el ordenador de la máquina; donde se puede añadir determinados datos como la dureza o características del material.



Grafico 37. Ordenador principal de la máquina de corte.

Fuente: Autores.

Ahora se procede al ajuste y fijación del disco de freno. Hay que tener en cuenta la distribución de las probetas a cortar con el fin de optimizar el corte, teniendo mucho cuidado que el movimiento del inyector no choque con las abrazaderas que sujetan la pieza.



Grafico 38. Sujeción del disco de freno.

Fuente: Autores.

A partir de este momento en el que ya se ubico el disco de freno a cortar adecuadamente la máquina toma el mando de la operación. Existe la posibilidad de tener que interrumpir el proceso con tal de reajustar la pieza o de comprobar si todo va correcto, pero si no hay ningún problema, desde que la máquina inicia el corte hasta el final es un proceso continuo que termina con un acabado excelente de la pieza a mecanizar.

Como resultado se obtiene un corte preciso, simétrico y lo que es más importante para nuestro análisis sin cambios en la estructura interna del material.



Grafico 39. Corte del disco de freno.

Fuente: Autores.

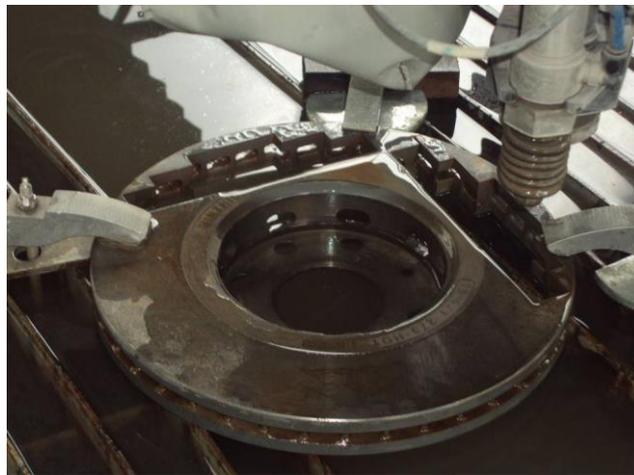


Grafico 40. Corte del disco de freno.

Fuente: Autores.

A continuación se indica el resultado del corte.



Grafico 41. Probetas obtenidas del corte por chorro de agua.

Fuente: Autores.

3.4 Codificación de las probetas obtenidas.

En la tabla 15 se presenta la cantidad de probetas obtenidas del corte.

Tabla 15. Cantidad de probetas obtenidas por disco de freno.

Fuente. Los Autores.

CANTIDAD DE PROBETAS POR DISCO DE FRENO				
Tipo de Disco	Cant. Probetas Tracción	Cant. Probetas Flexión	Cant. Probetas Impacto	TOTAL
Disco Alterno 1	2	4	12	18
Disco Alterno 2	2	4	12	18
Disco Original 1	2	4	12	18
Disco Original 2	2	4	12	18

En las tablas desde la 16 hasta la 19 se muestra la codificación de los discos de freno.

Tabla 16. Codificación Probetas Disco Alterno 1.

Fuente. Los Autores.

A1: Disco Alterno 1.

T1: Temperatura 1. (Temperatura máxima de funcionamiento).

Ac: Enfriado bruscamente en agua.

Codificación Probetas Disco Alterno 1												
Tracción	A1T1Ac1	A1T1Ac2										
Flexión	A1T1Ac3	A1T1Ac4	A1T1Ac5	A1T1Ac6								
Impacto	A1T1Ac7	A1T1Ac8	A1T1Ac9	A1T1Ac10	A1T1Ac11	A1T1Ac12	A1T1Ac13	A1T1Ac14	A1T1Ac15	A1T1Ac16	A1T1Ac17	A1T1Ac18

Tabla 17. Codificación Probetas Disco Alterno 2.

Fuente. Los Autores.

A2: Disco Alterno 2.

T1: Temperatura 1. (Temperatura máxima de funcionamiento).

Am: Enfriado lentamente a temperatura ambiente.

Codificación Probetas Disco Alterno 2			
Impacto	Flexión	Tracción	
A2T1Am7	A2T1Am3	A2T1Am1	
A2T1Am8	A2T1Am4	A2T1Am2	
A2T1Am9	A2T1Am5		
A2T1Am10	A2T1Am6		
A2T1Am11			
A2T1Am12			
A2T1Am13			
A2T1Am14			
A2T1Am15			
A2T1Am16			
A2T1Am17			
A2T1Am18			

Tabla 18. Codificación Probetas Disco Original 1.

Fuente. Los Autores.

O1: Disco Original 1.

T1: Temperatura 1. (Temperatura máxima de funcionamiento).

Ac: Enfriado bruscamente en agua.

Codificación Probetas Disco Original 1			
Impacto	Flexión	Tracción	
O1T1Ac7	O1T1Ac3	O1T1Ac1	
O1T1Ac8	O1T1Ac4	O1T1Ac2	
O1T1Ac9	O1T1Ac5		
O1T1Ac10	O1T1Ac6		
O1T1Ac11			
O1T1Ac12			
O1T1Ac13			
O1T1Ac14			
O1T1Ac15			
O1T1Ac16			
O1T1Ac17			
O1T1Ac18			

Tabla 19. Codificación Probetas Disco Original 2.

Fuente. Los Autores.

O2: Disco Original 2.

T1: Temperatura 1. (Temperatura máxima de funcionamiento).

Am: Enfriado lentamente a temperatura ambiente.

Nota: Para escribir la codificación en las probetas se utilizo un esfero eléctrico.

Codificación Probetas Disco Original 2												
Tracción	O2T1Am1	O2T1Am2										
Flexión	O2T1Am3	O2T1Am4	O2T1Am5	O2T1Am6								
Impacto	O2T1Am7	O2T1Am8	O2T1Am9	O2T1Am10	O2T1Am11	O2T1Am12	O2T1Am13	O2T1Am14	O2T1Am15	O2T1Am16	O2T1Am17	O2T1Am18

3.5 Determinación de los componentes internos del material del disco de freno por medio de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.

3.5.1 Preparación de la muestra.

Para la preparación de la muestra se diluye cierta cantidad del material en agua regia, según como se indica en la tabla 20, dependiendo del peso de la muestra obtenida.

Tabla 20. Peso de Probetas vs Agua Regia. Fuente. Los autores.

Ítem	Tipo Probeta	Peso	Unidad	CANT. ACIDO NITRICO	CANT. ACIDO CLORHIDRICO
1	ORIGINAL 1	0,63	GRAMOS	7,88	23,63
2	ORIGINAL 2	0,88	GRAMOS	11,00	33,00
3	ORIGINAL 3	0,92	GRAMOS	11,50	34,50
4	ORIGINAL 4	0,88	GRAMOS	11,00	33,00
5	ALTERNO 1	0,99	GRAMOS	12,38	37,13
6	ALTERNO 2	0,93	GRAMOS	11,63	34,88
7	ALTERNO 3	0,89	GRAMOS	11,13	33,38
8	ALTERNO 4	0,75	GRAMOS	9,38	28,13
TOTAL:				85,88	257,63

A continuación en la tabla 21 se indica el porcentaje que se debe tener de ácido clorhídrico y ácido nítrico para que se forme agua regia.

Tabla 21. Porcentajes de ácido clorhídrico y ácido nítrico para preparar agua regia. Fuente. Los Autores.

Agua Regia =	1 HNO₃	25%
	3 HCl	75%

Una vez que se obtiene las cantidades de agua regia que se indica la tabla 21 se diluye cada una de las muestras codificándolas por tipo de material ya sea disco alterno o disco original como se indica en el gráfico 42.



Gráfico 42. Dilución de las muestras en agua regia. Fuente. Los Autores.

Después de tener diluidas las muestras es importante el filtrado de las mismas para evitar que pasen restos de materiales sólidos que no se necesitan en la máquina de absorción atómica, esto se hace con filtros de fibra de vidrio en un Matraz Kitasato Y Embudo Bushner con bomba de vacío como indica la gráfico 43.



Grafico 43. Matraz Kitasato Y Embudo Bushner. Fuente. Los Autores.

Teniendo las diluciones debidamente filtradas ahora se prepara las diferentes soluciones para colocar en la maquina como se indica en el manual para la determinación de cada componente, de la siguiente forma:

Tabla 22. Preparación de soluciones A y C para determinar Cu, Mn, Cr, Ni. Fuente. Aplicación de la espectrofotometría de absorción atómica al análisis de productos metalúrgicos. Pág. 96.

ITEM	COMPONENTE A DETERMINAR	TIPO DE SOLUCION	PREPARACION DE LA SOLUCION
1	COBRE	SOL. A	1 gramo de muestra disuelto en 50 ml de mezcla acida (ClH-NO ₃ H-ClO ₄ H) y aforado a 100ml con agua (1g/100ml)
2	MANGANESO	SOL. A	
3	CROMO	SOL. A	
4	NIQUEL	SOL. C	10 ml de la SOLUCION A se lleva a un matraz aforado de 100ml y se completa el volumen hasta el enrase con ClH 1/9 (0,1 g/100ml).

Teniendo como resultado las soluciones A y C necesarias para poder determinar cada componente en la maquina, como indica el grafico 44.



Grafico 44. Solución A y C listas para colocar en la máquina de absorción atómica. Fuente. Los Autores.

Una vez que se tiene identificadas y codificadas cada una de las soluciones por tipo de material se procede a realizar la calibración de la maquina colocando los valores de referencia según el componente a determinar cómo indicamos en la tabla 23.

Tabla 23. Valores de referencia para calibrar la máquina de absorción atómica según componentes a determinar. Fuente. Los Autores.

ITEM	COMPONENTE A DETER.	PEAK CURRENT	PMT VOLTAGE	RANURA LLAMA	LONGITUD DE ONDA	OXIDANTE	CAUDAL	COMBUSTIBLE	CAUDAL
1	COBRE	10	296	0,2	324,7	AIRE	2,6	ACETILENO	1,8
2	MANGANESO	10	353	0,2	279,5	AIRE	2	ACETILENO	1,8
3	CROMO	10	380	0,2	357,9	AIRE	2,6	ACETILENO	1,8
4	NIQUEL	10	380	0,2	232	AIRE	2,6	ACETILENO	1,8

Realizada la calibración de la maquina se procede a prender la llama de la misma la cual va a quemar la solución A o C respectivamente como se necesite; y mediante la lámpara de cátodo hueco se va a proceder a realizar la medición del componente deseado, como se indica en el grafico 45.



Grafico 45. Espectrómetro de Absorción Atómica AI 1300. Fuente. Los Autores.

Tabla 24. Resultados obtenidos en la maquina por absorción atómica en partes por millo (ppm). Fuente. Los Autores.

Cant. CU (ppm)	Cant. Mn (ppm)	Cant. Cr (ppm)	Cant. Ni (ppm)
3,23	9,68	5,13	0,08
4,19	12,4	7,73	0,73
5,78	11,8	7,48	0,73
5,28	11,4	6,97	0,5
9,74	12,9	4,77	0,68
9,57	12,4	3,81	0,56
9,82	12,3	3,88	0,63
8,73	11	4,09	0,23

Tabla 25. Resultados obtenidos en la maquina por absorción atómica en tanto por ciento (%). Fuente. Los Autores.

Cant. CU (%)	Cant. Mn (%)	Cant. Cr (%)	Cant. Ni (%)
0,051	0,154	0,081	0,001
0,048	0,141	0,088	0,008
0,063	0,128	0,081	0,008
0,060	0,130	0,079	0,006
0,098	0,130	0,048	0,007
0,103	0,133	0,041	0,006
0,110	0,138	0,044	0,007
0,116	0,147	0,055	0,003

Tabla 26. Resultado obtenido según material de disco de freno en %. Fuente. Los Autores.

	Cant. CU (%)	Cant. Mn (%)	Cant. Cr (%)	Cant. Ni (%)
Disco Original	0,056	0,135	0,081	0,007
Disco Alterno	0,107	0,136	0,046	0,006

3.6 Ensayo Metalográfico (probetas sin calentamiento).

Este ensayo es muy importante ya que los resultados que se obtienen del mismo van a servir de base para comparar con los que se consiguió al someter las probetas a los métodos de enfriamiento.

3.6.1 Preparación de las probetas.

- a. Esmerilar las esquinas de la probeta y chaflanar los lados para que no rompa las hojas de lijado para el desbaste.



Grafico 46. Probetas esmeriladas y chaflanadas. Fuente. Los Autores.

- b. A continuación se procede a realizar el desbaste en el banco de lijado como indica el grafico 47.



Grafico 47. Banco de Lijado.

Fuente: Laboratorio metalografía U.P.S.

- c. El desbaste se lo realiza de tal forma que la probeta quede sin presencia de ralladuras, esto se consigue de la siguiente forma:
- i. Primero; en la lija Nro. 1 que es la más gruesa friccionamos la probeta en forma vertical por varios minutos hasta que las rayas queden claramente visibles.
 - ii. Segundo; en la siguiente lija friccionamos la probeta pero ahora la probeta debe de estar de tal forma que las rayas que se vayan a producir estén perpendiculares a las que ya estaban, como indica el grafico 48.

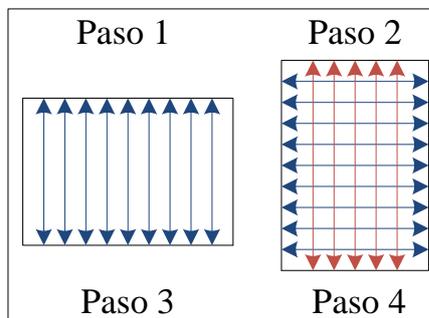


Grafico 48. Proceso de fricción de la probeta para desbaste.

Fuente: Los Autores.

- iii. Tercero; en el tercera se realiza igual que el paso 1.
- iv. Cuarto, en la cuarta lija se procede igual que el paso 2, teniendo en este último paso que la probeta quedar totalmente lisa y libre de ralladuras para proceder al pulido.
- v. Quinto, se procede a pulir la probeta en la máquina de pulido, la cual mediante un paño y un pulimento hace que la probeta quede totalmente libre de ralladuras y la superficie en forma de espejo.



Grafico 49. Pulido de la probeta.

Fuente: Laboratorio metalografía U.P.S.

3.6.2 Ataque de las probetas.

Una vez que la probeta esta lista para el análisis, ahora el siguiente paso es atacar las probetas con Nital 2 para observar la estructura interna del material con el microscopio. El ataque con Nital 2 se lo hace de la siguiente forma: Necesitamos 3 recipientes, en el primer recipiente colocamos Nital 2, en el segundo agua destilada y en el último alcohol, como indica el grafico 50.



Grafico 50. Preparación de los materiales para el ataque.

Fuente: Los Autores.

En este momento el ataque se lo realiza de la siguiente forma:

- i. Se introduce la probeta por un tiempo de 25 segundos en Nital 2, enseguida sumergimos en agua y en alcohol, por ultimo secamos la probeta con un ventilador para no tocar la superficie atacada, teniendo como resultado el grafico 51.

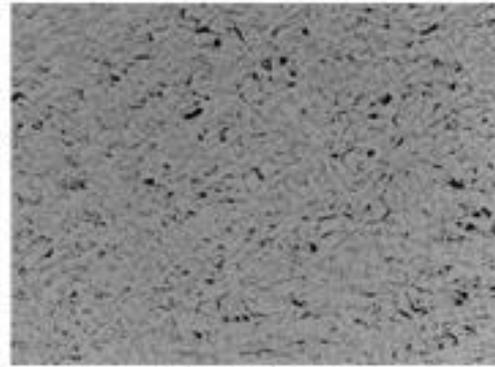


Grafico 51. Probetas atacadas con Nital 2 durante 25seg.

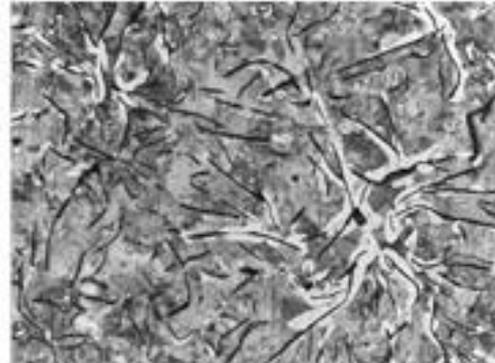
Fuente: Los Autores.

- ii. Ahora se analiza en el microscopio cada una de las probetas teniendo los siguientes resultados.

Disco Alterno sin ataque
20x



Disco Alterno ataque Nital 2
50x



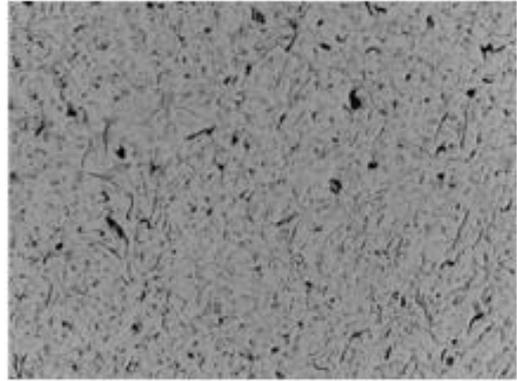
Disco Alterno ataque Nital 2
100x



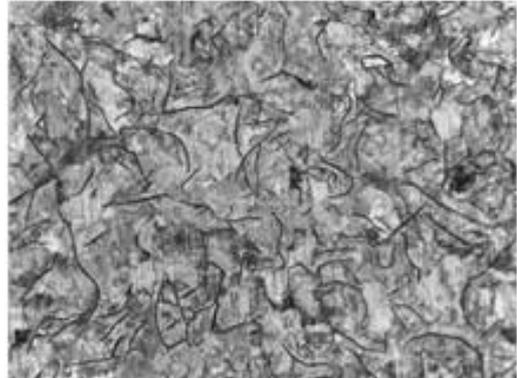
Grafico 52. Fotos probeta disco alterno sin calentamiento.

Fuente: Los Autores.

Disco Original sin ataque
20x



Disco Original ataque Nital 2
50x



Disco Original ataque Nital 2
100x



Grafico 53. Fotos probeta disco original sin calentamiento.

Fuente: Los Autores.

3.7 Ensayo de dureza. (Probetas sin calentamiento).

- a) El ensayo de dureza Rockwell se lo realizo en la máquina de marca FRANK de procedencia alemana con identador 1/16” y peso de 100kg como se indica en el grafico 54.



Grafico 54. Máquina para ensayo de dureza Brinell.

Fuente: Los Autores.



Grafico 55. Identador 1/16" para ensayo de dureza.

Fuente: Los Autores.

b) Se tomo tres muestras y se saco un promedio tal y como indica las tablas 27 y 28.

Tabla 27. Resultados ensayo dureza Rockwell HRB.

Fuente: Los Autores.

Numero de ensayos		Dureza Rockwell HRB
Disco Original.	1	91
	2	92
	3	101
	4	70
	5	95
	6	83
PROMEDIO:		88,67 HRB

Tabla 28. Resultados ensayo dureza Rockwell HRB.

Fuente: Los Autores.

Numero de ensayos		Dureza Rockwell HRB
Disco Alterno.	1	98
	2	94
	3	92,5
	4	69,5
	5	93
	6	89,5
PROMEDIO:		89,42 HRB

3.8 Calentamiento de las probetas a 350°C.

Este calentamiento se lo realizo con el horno que tiene la Universidad Politécnica Salesiana, como se indica en le grafico 56.



Grafico 56. Horno.

Fuente: Los Autores.

Calibración del horno para que alcance una temperatura de 350°C.



Grafico 57. Panel digital para calibración del horno.

Fuente: Los Autores.

Colocación de las probetas en la bandeja de entrada del horno.



Grafico 58. Colocación de las probetas en la bandeja de entrada.

Fuente: Los Autores.

Retiro de la bandeja del horno a la temperatura de 350°C.



Grafico 59. Retiro de la bandeja del horno.

Fuente: Los Autores.

Enfriado de las probetas en agua.



Grafico 60. Enfriamiento de las probetas por Agua.

Fuente: Los Autores.

Enfriado de las probetas al ambiente.



Grafico 61. Enfriamiento de las probetas al ambiente.

Fuente: Los Autores.

3.9 Ensayo metalográfico (probetas calentadas y enfriadas).

Se realiza los pasos descritos anteriormente en el ítem 3,3. A continuación indicamos los resultados obtenidos de estos ensayos:

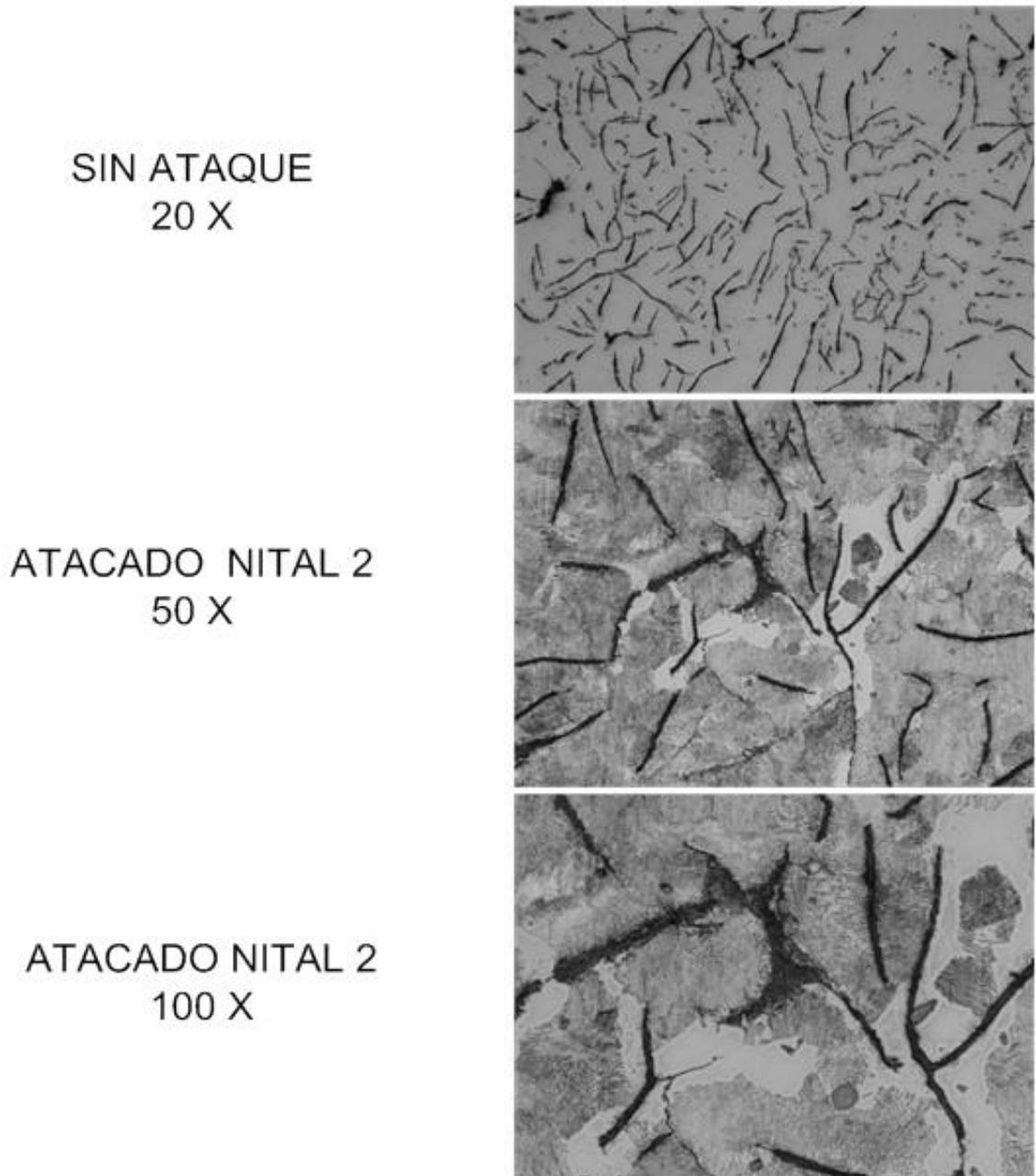
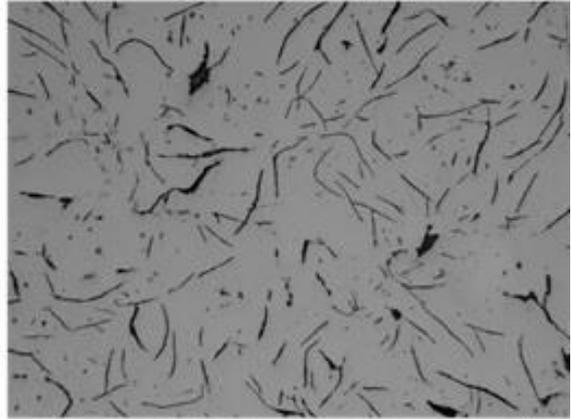


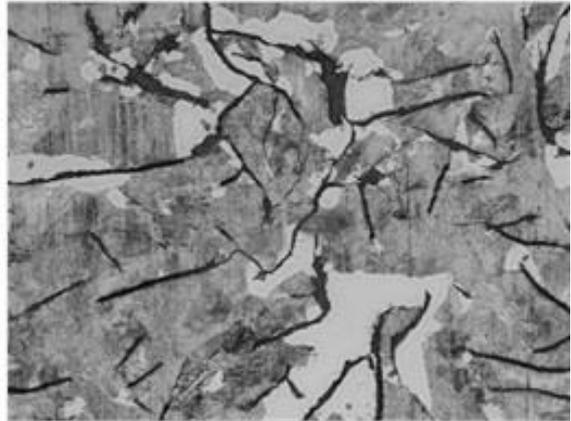
Grafico 62. Disco Alterno calentado a 350°C y enfriado al ambiente.

Fuente: Los Autores.

SIN ATAQUE
20 X



ATACADO NITAL 2
50 X



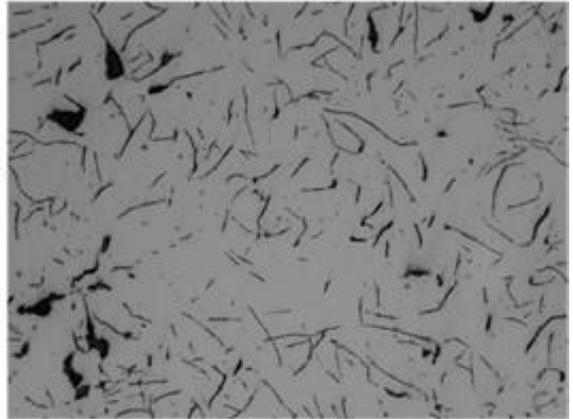
ATACADO NITAL 2
100 X



Grafico 63. Disco Alterno calentado a 350°C y enfriado en agua.

Fuente: Los Autores.

SIN ATAQUE
20 X



ATACADO NITAL 2
50 X



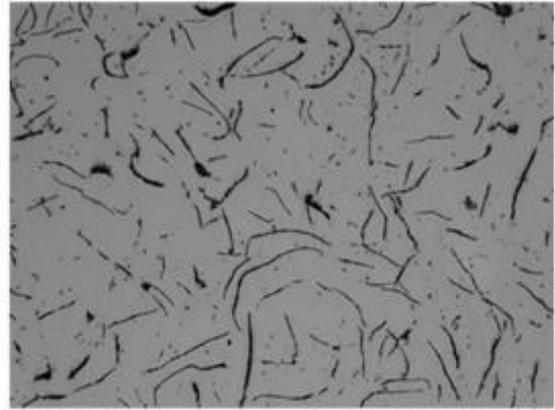
ATACADO NITAL 2
100 X



Grafico 64. Disco Original calentado a 350°C y enfriado al ambiente.

Fuente: Los Autores.

SIN ATAQUE
20 X



ATACADO NITAL 2
50 X



ATACADO NITAL 2
100 X



Grafico 65. Disco Original calentado a 350°C y enfriado en agua.

Fuente: Los Autores.

3.10 Ensayo de dureza (probetas calentadas y enfriadas).

Se procede tal y como se indica en el ítem 3,4; a continuación se presentan los resultados.

Tabla 29. Resultados ensayo dureza Rockwell HRB. Fuente: Los Autores.

	Nº PRUEBAS	VALOR	MEDIDA
DISCO ALTERNO CALENTADO 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.	1	88,5	HRB
	2	86	HRB
	3	88,5	HRB
	PROMEDIO	88	HRB

Enter Your Value:
 Hardness Number: 88
 HB to HRB HRB to HB
 Calculate
 Result:
 Converted Value: 182 HB

Grafico 66. Conversión de HRB a HB.

Fuente: <http://www.calculatoredge.com/metallurgy/hardness.htm>

Tabla 30. Resultados ensayo dureza Rockwell HRB. Fuente: Los Autores.

	Nº PRUEBAS	VALOR	MEDIDA
DISCO ORIGINAL CALENTADO 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.	1	90,5	HRB
	2	91	HRB
	3	88	HRB
	PROMEDIO	90	HRB

Enter Your Value:
 Hardness Number: 90
 HB to HRB HRB to HB
 Calculate
 Result:
 Converted Value: 191 HB

Grafico 67. Conversión de HRB a HB.

Fuente: <http://www.calculatoredge.com/metallurgy/hardness.htm>

Tabla 31. Resultados ensayo dureza Rockwell HRB. Fuente: Los Autores.

DISCO ALTERNO CALENTADO 350°C Y ENFRIADO AL AMBIENTE.	N° PRUEBAS	VALOR	MEDIDA
	1	87	HRB
	2	87,5	HRB
	3	86,5	HRB
	PROMEDIO	87	HRB

Enter Your Value:
 Hardness Number: 87
 HB to HRB HRB to HB
 Calculate
 Result:
 Converted Value: 178 HB

Grafico 68. Conversión de HRB a HB.

Fuente: <http://www.calculatoredge.com/metallurgy/hardness.htm>

Tabla 32. Resultados ensayo dureza Rockwell HRB. Fuente: Los Autores.

DISCO ORIGINAL CALENTADO 350°C Y ENFRIADO EN AGUA.	N° PRUEBAS	VALOR	MEDIDA
	1	91	HRB
	2	89	HRB
	3	92	HRB
	PROMEDIO	91	HRB

Enter Your Value:
 Hardness Number: 91
 HB to HRB HRB to HB
 Calculate
 Result:
 Converted Value: 197 HB

Grafico 69. Conversión de HRB a HB.

Fuente: <http://www.calculatoredge.com/metallurgy/hardness.htm>

3.11 Ensayo de Tracción (probetas calentadas y enfriadas).

Para el ensayo de tracción se necesita los siguientes materiales:

- Máquina de ensayo Universal, marca METRO COM de 200 kN.
- Cinta métrica.
- Calibrador.
- Probeta obtenida del corte por chorro de agua 100 x 20 mm.

Para realizar el ensayo de tracción, en la Máquina de ensayo Universal, se procede de la siguiente forma.

- Selección el sistema de sujeción;
- Se coloca la probeta entre las mordazas;
- Aplicar la precarga;
- Medir la longitud entre las mordazas;
- Alimentar los datos solicitados por el software;
- Aplicar la carga (inicia el ensayo);
- Una vez producida la rotura de la probeta, medir el diámetro en la zona de estricción;
- Luego retirar la probeta e interpretar los resultados.

A continuación en las siguientes tablas se presenta los resultados obtenidos del ensayo de tracción.

Tabla 33. Disco Alterno calentado a 350°C y enfriado al ambiente.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE TRACCION							
N° PROBETA:	A2T1AM3	A2T1AM4	A2T1AM5	A2T1AM6			
Carga máxima F_{fm}:	19,72 kN	4,52 kN	16,27 kN	3,62 kN			
R_m:	172,38 Mpa	55,291 Mpa	135,6 Mpa	45,3 Mpa			

Tabla 34. Disco Alterno calentado a 350°C y enfriado en agua.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE TRACCION								
N° PROBETA:	A1T1AC3		A1T1AC4		A1T1AC5		A1T1AC6	
Carga máxima F fm:	18,08	kN	19,59	kN	16,05	kN	3,65	kN
Rm:	179,37	Mpa	180,06	Mpa	161,8	Mpa	47,59	Mpa

Tabla 35. Disco Original calentado a 350°C y enfriado al ambiente.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE TRACCION								
N° PROBETA:	O2T1AM3		O2T1AM4		O2T1AM5		O2T1AM6	
Carga máxima F fm:	25,28	kN	23,69	kN	17,02	kN	2,04	kN
Rm:	219,44	MPa	289,79	MPa	160,3	MPa	36,51	MPa

Tabla 36. Disco Original calentado a 350°C y enfriado en agua.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE TRACCION								
N° PROBETA:	O1T1AC3		O1T1AC4		O1T1AC5		O1T1AC6	
Carga máxima F fm:	23,35	kN	24,75	kN	23,96	kN	10,34	kN
Rm:	196,37	MPa	211,9	MPa	219,6	MPa	126,4	MPa

3.12 Ensayo de Flexión (probetas calentadas y enfriadas).

Para el ensayo de tracción se necesita los siguientes materiales:

- Probeta obtenida por el corte a chorro de agua de 100 x 10.
- Máquina Universal de ensayo, marca METRO COM de 200 kN. En la parte superior de la misma, utilizando unos utillajes apropiados.

Para realizar el ensayo de tracción, en la Máquina de ensayo Universal, se procede de la siguiente forma.

- Se coloca la probeta entre las mordazas;
- Alimentar los datos solicitados por el software;
- Aplicar la carga (inicia el ensayo);
- Luego retirar la probeta e interpretar los resultados.

Como se puede observar en el grafico 70, la probeta no es maciza en su totalidad ya que en la mitad tiene canales de ventilación; por lo cual hay que realizar un recalcuulo considerando la situación indicada.

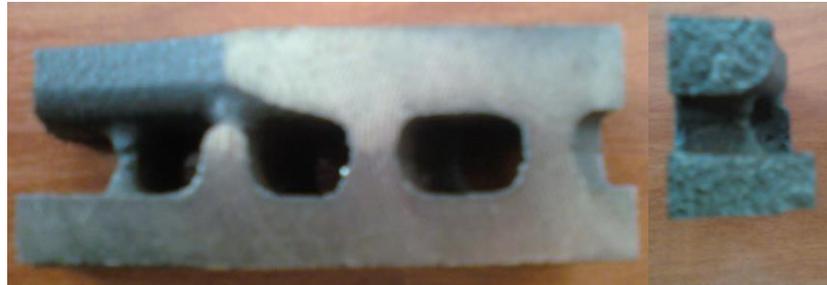


Grafico 70. Probeta de flexión.

Fuente: Los Autores.

Para eso se procede de la siguiente forma:

1. Realizar el dibujo del corte transversal de la probeta justo donde se rompió la probeta.

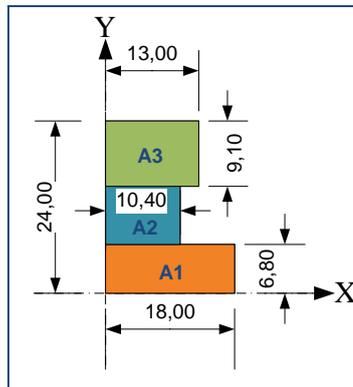


Grafico 71. Corte transversal de la probeta de flexión.

Fuente: Los Autores.

2. Como indica en el grafico 70 la probeta no es uniforme y es por eso que se debe re-calcular los valores de esfuerzo máximo. Para ello se debe calcular el centro de gravedad de la figura y es por eso que se divide a la misma en tres áreas uniformes que nos permitan trabajar de mejor manera con los cálculos.
3. Ahora se encontrar los centros de gravedad de cada división, teniendo como datos los valores de X_1 , X_2 , X_3 , Y_1 , Y_2 , Y_3 , respectivamente para poder calcular las coordenadas del centro de gravedad de la figura.

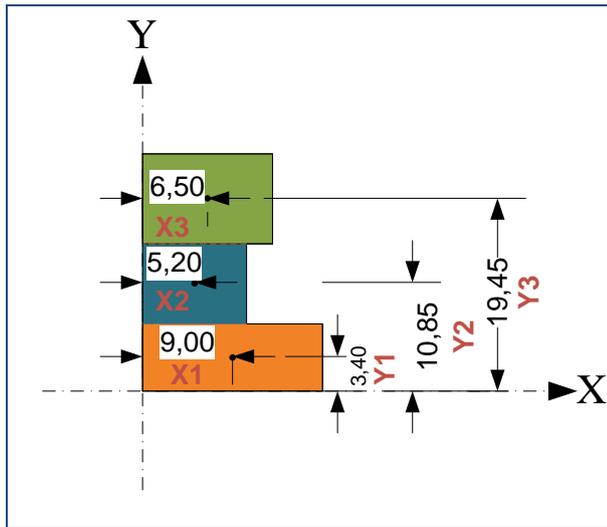


Grafico 72. Determinación de las coordenadas de los centroides.

Fuente: Los Autores.

4. Para calcular el centro de gravedad de la figura empleamos las siguientes fórmula:

X= Centros de gravedad en el eje X

Y =Centros de gravedad en el eje Y

A1=Área 1 (mm²)

A2=Área 2 (mm²)

X1, Y1=Distancia en X y Y 1

X2, Y2=Distancia en X y Y 2

$$\bar{X} = (A1X1 + A2X2 + A3X3) / (A1+A2+A3)$$

Fórmula 3. Centros de gravedad eje x.

$$\bar{Y} = (A1Y1 + A2Y2 + A3Y3) / (A1+A2+A3)$$

Fórmula 4. Centros de gravedad eje y.

5. Se tiene los siguientes valores:

$$\bar{X} = 7,10 \quad \bar{Y} = 11,17$$

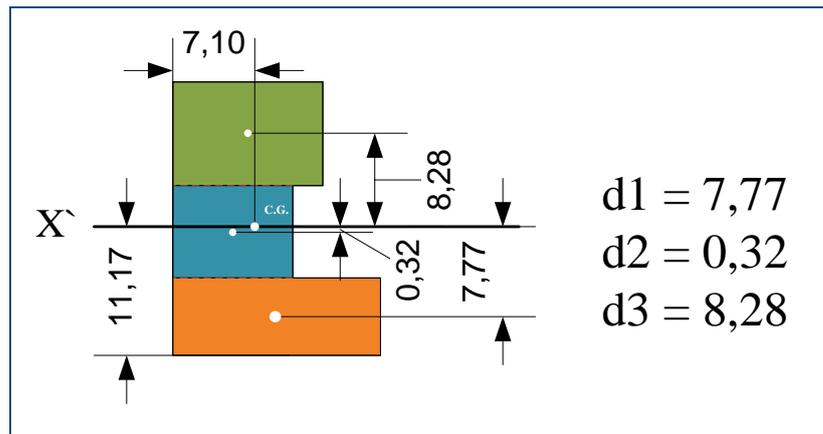


Grafico 73. Centro de gravedad de la figura.

Fuente: Los Autores.

6. Ahora se calcula el momento de inercia con respecto al centro de gravedad de la figura, para eso utilizamos el teorema de los ejes paralelos o teorema de Steiner.

Momento centroidal de inercia. Se utiliza el teorema de los ejes paralelos para hallar el momento de inercia de cada rectángulo con respecto al eje X' que pasa por el centroide de la sección compuesta. Sumando esos momentos de inercia, se tiene: ¹

$$\bar{I} = \text{Momento de Inercia de cada rectángulo. (mm}^3\text{)}$$

$$I_{X'} = \text{Momento centroidal de inercia (mm}^4\text{)}.$$

b y h = Base y altura de cada rectángulo (mm).

A = Área de cada rectángulo (mm²).

d = Distancia desde el centro de gravedad de cada rectángulo al eje X' (mm)

$$\text{Fórmula 5. Momento centroidal de inercia. } I_{X'} = \sum (\bar{I} + Ad^2) = \sum \left(\frac{1}{12}bh^3 + Ad^2 \right)$$

$$I_{X'} = \frac{1}{12}bh^3 + A_1d_1^2 + \frac{1}{12}bh^3 + A_2d_2^2 + \frac{1}{12}bh^3 + A_3d_3^2$$

$$I_{X'} = 17257,33 \text{ mm}^4$$

¹ Mecánica de materiales. Tercera edición. Mc Graw Hill. Pág. 223.

7. A continuación se calcula el momento flexionante, para esto utilizamos el valor de la carga máxima que nos dio como resultado del ensayo en la maquina.

$$M = \frac{PL}{4} = \frac{(17370N) * (130mm)}{4} = 564525 (Nmm)$$

Fórmula 6. Momento flexionante.

M = Momento (Nmm).

P = Carga máxima (N).

L = Distancia entre apoyos, sacamos de los resultados que nos da la maquina (mm).

8. Una vez calculado el momento se procede a calcular el esfuerzo máximo de tensión.

Esfuerzo máximo de tensión. Como los momentos aplicados flexionan la fundición hacia abajo, el centro de curvatura se sitúa por debajo de la sección. Su tensión máxima ocurre en el punto A, que es el más alejado del centro de curvatura.¹

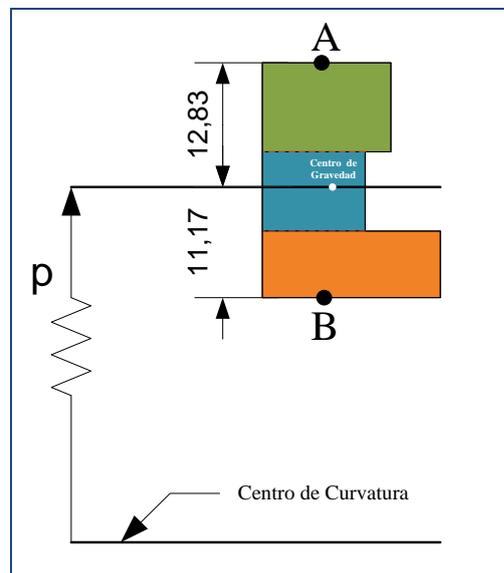


Grafico 74. Diagrama para cálculo de esfuerzo máximo.

Fuente: Los Autores.

¹ Mecánica de materiales. Tercera edición. Mc Graw Hill. Pág. 223

Fórmula 7. Esfuerzo máx. Tensión.

$$\sigma_A = \frac{MC_A}{I} = \frac{564525 \text{ Nmm} * 12,83\text{mm}}{17257,33 \text{ mm}^4} = 419,70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_A = 419,70 \text{ MPa}$$

9. A continuación se muestran los datos tabulados para las distintas probetas.

Tabla 37. Disco Alterno calentado a 350°C y enfriado al ambiente.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE FLEXION			
N° PROBETA:	A2T1AM1	A2T1AM2	
Carga máxima F fm:	12,37 kN	12,19 kN	
R fm:	298,89 Mpa	294,54 Mpa	

Tabla 38. Disco Alterno calentado a 350°C y enfriado en agua.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE FLEXION			
N° PROBETA:	A1T1AC1	A1T1AC2	
Carga máxima F fm:	10,48 kN	6,09 kN	
R fm:	253,22 Mpa	147,15 Mpa	

Tabla 39. Disco Original calentado a 350°C y enfriado al ambiente.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE FLEXION			
N° PROBETA:	O2T1AM1	O2T1AM2	
Carga máxima F fm:	17,27 kN	12,26 kN	
R fm:	417,28 MPa	296,23 MPa	

Tabla 40. Disco Original calentado a 350°C y enfriado en agua.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE FLEXION			
N° PROBETA:	O1T1AC1	O1T1AC2	
Carga máxima F fm:	17,37 kN	15,6 kN	
R fm:	419,70 MPa	376,93 MPa	

3.13 Ensayo de Impacto (probetas calentadas y enfriadas).

Para el ensayo de impacto (resiliencia) se necesita los siguientes materiales:

La probeta normalizada tiene 55 mm de longitud y una sección de 10 mm de lado. En el punto medio de su longitud estará entallada. La entalla puede ser de dos tipos:

- a) Entalla en V a 45°, de 2 mm de profundidad con un radio en el fondo de la entalla de 0,25 mm.
- b) Entalla en U de 5 mm de profundidad, con un radio en el fondo de la entalla de 1 mm.

La máquina de ensayo Charpy de marca METRO COM, con las siguientes características:

- Distancia entre apoyos: 40 mm
- Peso del martillo: 19.5 kg.
- Longitud brazo: 792.6 mm
- Altura caída martillo: 1,5445 mt
- Energía máxima disponible: 295.355 J ¹

¹ Norma UNE 7 475-1 (EN 10 045-1): Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy. Parte 1, Método de ensayo



Grafico 75. Máquina de ensayo Charpy de marca METRO COM.

Fuente: Los Autores.

Para realizar el ensayo Charpy en la máquina METRO COM, se procede de la siguiente manera:

- **Software “DINA 240 versión 4.0”**
 - Para entrar, clic en “*tipo di prova*”;
 - Vuelta clic en “Resiliencia”;
 - Llenar el formato presentado en la pantalla; menos los dos últimos ítem;
 - Es importante indicar la temperatura de ensayo en “*Annotazioni*”;
 - Una vez llenado el formulario, se clic en “*inizia acquisizione*”;
 - Pasar a B.¹

¹ Norma UNE 7 475-1 (EN 10 045-1): Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy. Parte 1, Método de ensayo

○ **Módulo Sael Win 12 para Charpy**

Antes de iniciar el Ensayo:

- a) Sobre el digital aparece E1 → 0.0;
- b) Enganchar el martillo, y pulsar F1, aparecerá: como apagado.
- c) Colocar la probeta sobre los apoyos de la máquina, de forma que la arista de la maza golpee la cara opuesta a la entalla;
- d) Soltar el martillo, romper la probeta y aparecerá E1energía (energía absorbida por la probeta);
- e) Disipar la energía del martillo a través de 10 oscilaciones completas
- f) Pulsando ENTER aparecerá A....ángulo (ángulo de resalida del martillo).¹

○ **Para imprimir los resultados**

- a) Clica en “*Stampa certificato*”;
- b) Para salir “*Esci*”.

A continuación en las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos del ensayo de impacto.

Tabla 41. Disco Alterno calentado a 350°C y enfriado al ambiente.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE IMPACTO									
Nº PROBETA:	A2T1AM7		A2T1AM8		A2T1AM9		A2T1AM10		
Energía J:	1,3	J	1,3	J	1,2	J	1,3	J	
Carga máxima F fm:	3,755	J/cm2	3,759	J/cm2	3,81	J/cm2	4,04	J/cm2	

Tabla 42. Disco Alterno calentado a 350°C y enfriado en agua.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE IMPACTO									
Nº PROBETA:	A1T1AC7		A1T1AC8		A1T1AC9		A1T1AC10		
Energía J:	1,3	J	1,3	J	1,4	J	1,6	J	
Carga máxima F fm:	3,801	J/cm2	4,117	J/cm2	4,251	J/cm2	4,348	J/cm2	

¹ Norma UNE 7 475-1 (EN 10 045-1): Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy. Parte 1, Método de ensayo

Tabla 43. Disco Original calentado a 350°C y enfriado al ambiente.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE IMPACTO								
N° PROBETA:	O2T1AM7	O2T1AM8	O2T1AM9	O2T1AM10				
Energía J:	1,4	J	1,3	J	1,4	J	1,4	J
Carga máxima F fm:	3,24	J/cm2	3,328	J/cm2	3,743	J/cm2	4,321	J/cm2

Tabla 44. Disco Original calentado a 350°C y enfriado en agua.

Fuente: Los Autores.

ENSAYO DE IMPACTO								
N° PROBETA:	O1T1AC7	O1T1AC8	O1T1AC9	O1T1AC10				
Energía J:	1,6	J	1,2	J	1,2	J	1,3	J
Carga máxima F fm:	4,341	J/cm2	3,663	J/cm2	4,186	J/cm2	3,861	J/cm2

3.14 Ensayo de durabilidad de los discos de freno.

Para realizar el ensayo de durabilidad de los discos se utilizo una maqueta en la cual el movimiento del disco de freno lo realiza un motor eléctrico y el sistema de frenado es accionado por una mordaza de un solo pistón de mando manual, tal como indican los gráficos 76, 77, 78.



Grafico 76. Maqueta para realizar el ensayo de durabilidad de discos de freno.

Fuente: Los Autores.

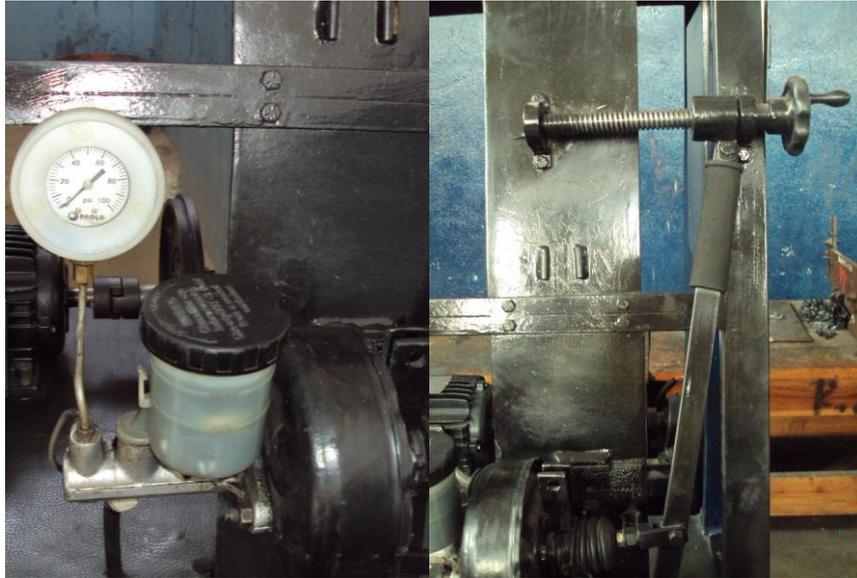


Grafico 77. Sistema de frenado mediante accionamiento manual.

Fuente: Los Autores.

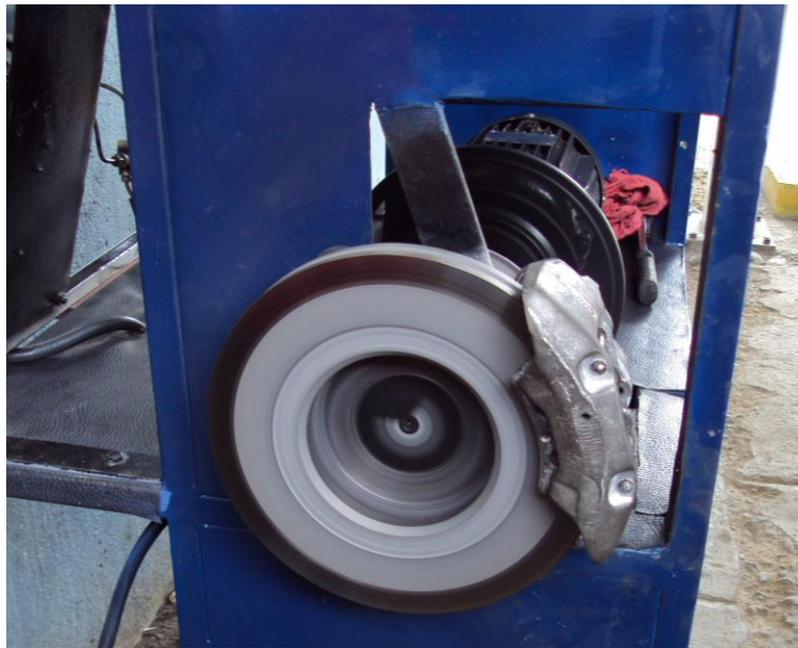


Grafico 78. Movimiento del disco producido por un motor eléctrico de 5HP.

Fuente: Los Autores.

Para este ensayo se utilizan pastillas con asbesto (material duro) y en intervalos de media hora se va accionando la palanca de forma manual sin sobrepasar la corriente nominal del motor eléctrico que es de 14 amperios.

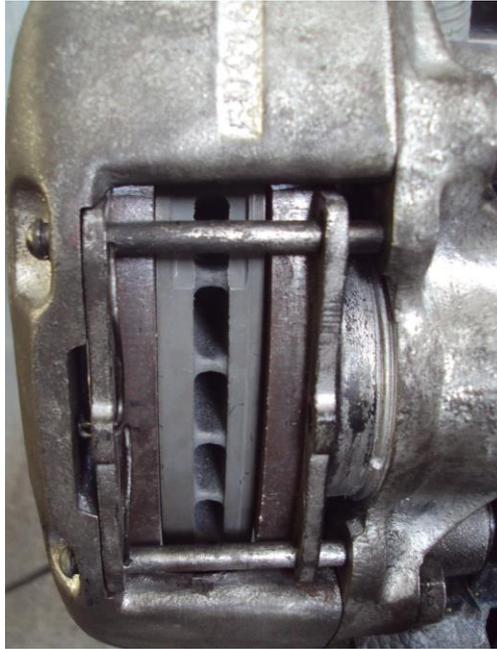


Grafico 79. Disposición de la mordaza y pastillas de frenado.

Fuente: Los Autores.

Esta corriente es controlada en cualquiera de las fases del motor trifásico con un multímetro de gancho, con la finalidad de evitar que el motor eléctrico se recaliente y se dañe, tal como indica el grafico 80.



Grafico 80. Control del motor eléctrico mediante multímetro de gancho.

Fuente: Los Autores.

La maqueta cuenta con un dispositivo de final de carrera para seguridad de la misma que apaga el motor cuando la varilla de empuje del cilindro principal del freno ha llegado a su máximo recorrido 115mm, teniendo esta relación como base para comprar los resultados obtenidos en cada disco de freno.

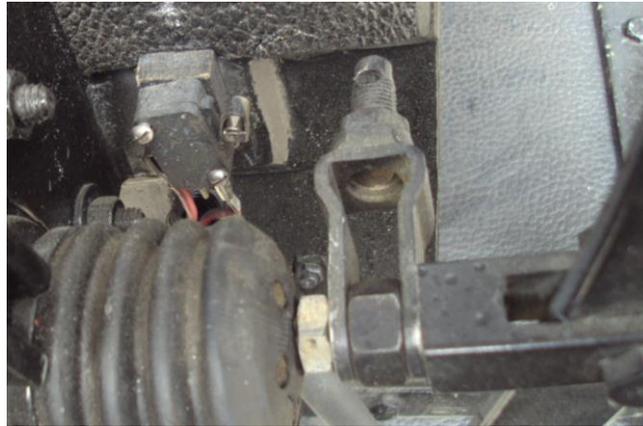


Grafico 81. Dispositivo de seguridad mediante final de carrera.

Fuente: Los Autores.

La presión constante de frenado con la cual no se sobrepasa la corriente nominal del motor es de 30 psi.



Grafico 82. Presión de funcionamiento.

Fuente: Los Autores.

A continuación se muestra los resultados obtenidos tanto para el disco original como para el alterno.

Los resultados fueron tabulados de la siguiente manera:

- a) Se mide el ancho original del disco con un micrómetro de 0 a 25 mm.
- b) Se procede a realizar el accionamiento de las pastillas contra el disco, accionando la manivela manual como indica el grafico 77.
- c) Una vez que el recorrido de la varilla de empuje llega a lo máximo permitido (115mm) grafico 81, se desconecta el motor y se toman varias medidas con un micrómetro en toda la periferia del disco.
- d) Se mide el desgaste de la pastilla con un calibrador de profundidad.
- e) Se calcula el desgaste del disco restando el ancho original del disco antes de la prueba del ancho final después de la prueba.
- f) Se calcula el desgaste de la pastilla restando el ancho original de la pastilla antes de la prueba del ancho final después de la prueba.
- g) Se tabulan los datos como indica la tabla 45.

Tabla 45. Resultados obtenidos del ensayo de durabilidad. Fuente: Los Autores.

	Recorrido varilla de empuje (mm)	Presión de frenado (psi)	Ancho de pastillas (mm)	Desgaste de pastillas (mm)	Ancho Inicial de disco de freno (mm)	Ancho final de disco de freno (mm)	Desgaste (mm)	Tiempo frenado (h)
Disco Original	115	30	18	4	24,75	24,48	0,27	20
Disco Alternativo	115	30	18	8	24,60	24,10	0,5	10

CAPITULO 4

4. Comparación de los valores obtenidos.

4.1 Metodología.

Los discos de freno se someten a diversos ensayos para la obtención de los resultados necesarios para determinar la calidad y comportamiento mecánico de estas aleaciones de hierro gris según las normas aplicadas a la fabricación de los discos de freno.

La caracterización de los discos de freno, grafico 83; consiste en analizar su composición química la cual se llevo a cabo mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica.

Para la caracterización de la resistencia mecánica se realizaron tres ensayos: el primero de dureza en escala Brinell (HB) de acuerdo a la norma ASTM E 10, el segundo de resistencia a la tensión de acuerdo a la norma ASTM E 8M y el tercero de resistencia al desgaste como se indica en el capítulo anterior. El análisis metalográfico se lo realiza mediante la norma ASTM A 247.



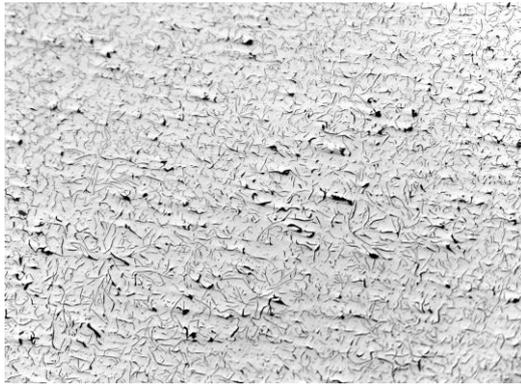
Grafico 83. Caracterización de los discos de freno.

Fuente: Los Autores

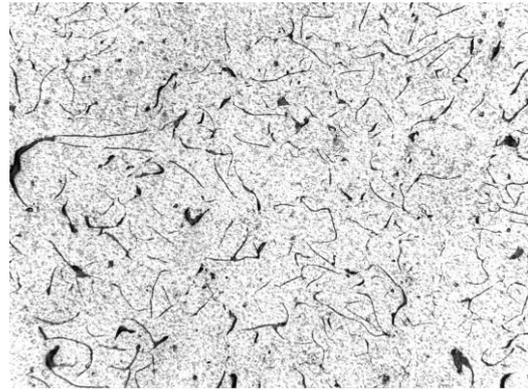
Las muestras metalográficas se analizan con el objeto de obtener características principales ya sea de los grafitos o de las fases presentes (Ferrita y Perlita).

4.2 Tipos de grafito.

Para determinar los tipos de grafito ya sea tamaño del grafito y distribución, esta se realiza sin un ataque químico y con una magnificación bajo zoom de 100X, tal como indica el grafico 84.



Disco Alterno



Disco Original

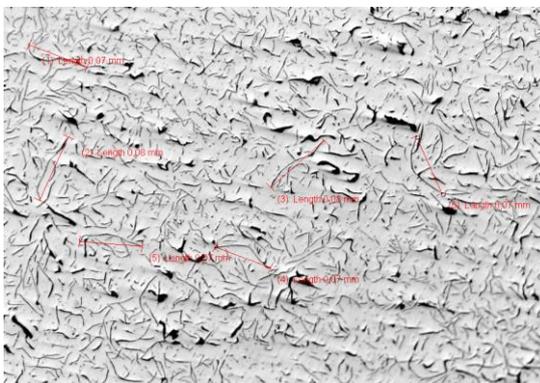
Grafico 84. Distribución del tipo de grafito.

Fuente: Los Autores.

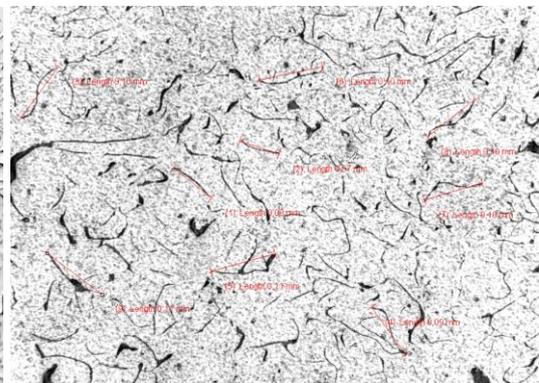
Disco Alterno: Se encuentra una distribución del tipo E según norma ASTM A247.

Disco Original: Se encuentra una distribución del tipo A según norma ASTM A247.

En el grafico 85 se mide la longitud de las hojuelas según la norma ASTM A247.



Disco Alterno



Disco Original

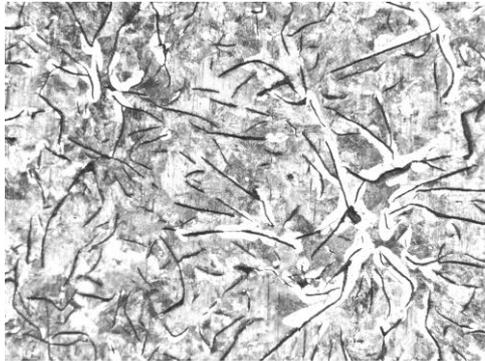
Grafico 85. Tamaño de hojuelas de grafito según norma ASTM A247.

Fuente: Los Autores.

Disco Alterno: Se encuentra una longitud de hojuelas promedio de 7mm, teniendo una clasificación de tipo 5 según la norma ASTM A247.

Disco Original: Se encuentra una longitud de hojuelas promedio de 10mm, teniendo una clasificación de tipo 4 según la norma ASTM A247.

Para las fases presentes el ataque químico se realiza con Nital al 2% el cual se compone de 2 ml. de ácido nítrico y 98 ml de alcohol etílico, las probetas son atacadas por un lapso no mayor de 15 segundos, las imágenes son obtenidas a magnificaciones 400X en el mismo microscopio óptico para poder identificar las fases presentes en el material a analizar.



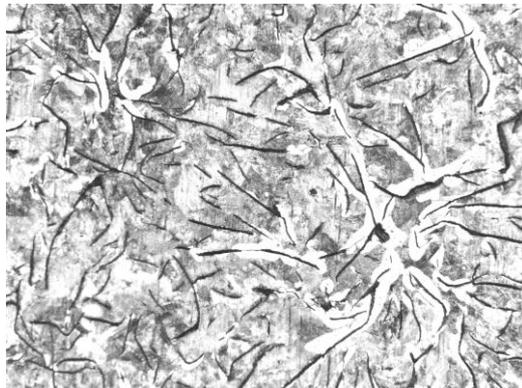
Disco Alterno



Disco Original

Grafico 86. Fases presentes en los discos según norma ASTM A247. Fuente: Los Autores.

Para poder elegir el tipo de fundición gris se realiza una comparación entre dos tipos de fundición gris empleados por VERSA – BAR para la fabricación de piezas automotrices.



Ensayo Metalográfico Disco Alterno

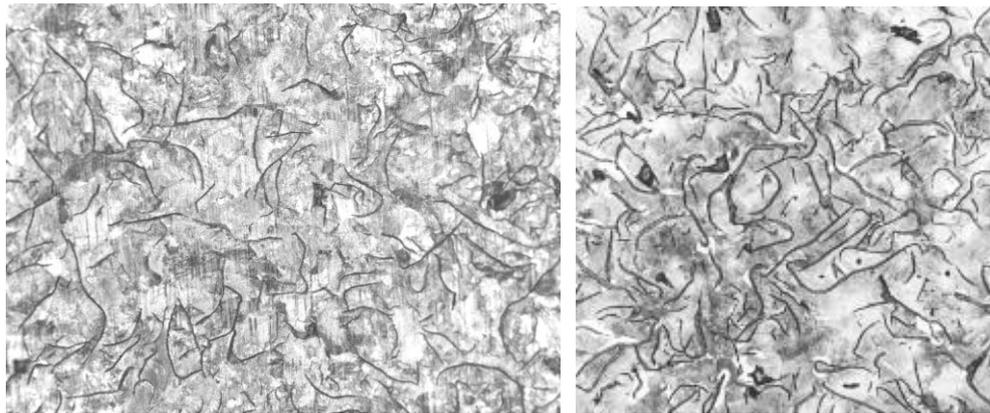


VERSA-BAR¹

Grafico 87. Comparación entre el ensayo metalográfico y el catalogo VERSA-BAR. Fuente: Los Autores.

Disco Alterno: Se encuentra similitud, según VERSA-BAR corresponde a un Hierro Gris Perlítico/Ferrítico VERSA-BAR FC-200.

¹ Microestructura típica en el núcleo (VERSA-BAR FC-200)



Ensayo Metalográfico Disco Original

VERSA-BAR¹

Grafico 88. Comparación entre el ensayo metalográfico y el catalogo VERSA-BAR. Fuente: Los Autores.

Disco Original: Se encuentra similitud, según VERSA-BAR corresponde a un Hierro Gris Perlítico VERSA-BAR FC-300.

Para asegurar que la elección del tipo de fundición de cada disco de freno es la correcta se va a comparar los valores de las propiedades mecánicas y composición química según los resultados de los ensayos y el catalogo VERSA-BAR.

4.3 Comparación resultados composición química vs catalogo VERSA-BAR.

Disco de Freno Alterno.

Tabla 46. Comparación de la composición química. Fuente: Los Autores.

	Cant. CU (%)	Cant. Mn (%)	Cant. Cr (%)	Cant. Ni (%)
Disco Alterno	0,107	0,136	0,046	0,006
VERSA BAR	0	0,40 - 0,80	0	0

La dureza Rockwell en el disco alterno es de **89,42 HRB** y pasando a Dureza Brinell (BHN) tenemos un valor de **181 BHN** que está dentro del rango que especifica la tabla 47.

¹ Microestructura típica en el núcleo (VERSA-BAR FC-200)

Tabla 47. Dureza y límite de resistencia a la tracción de VERSA-BAR FC-200.

Fuente: VERSA-BAR.

Dimensión		Dureza	Fuerza de elasticidad (min.)	
(pulgada)	(mm)	(BHN)	(Psi)	(MPa)
hasta - 1.000	hasta - 25.4	163 - 229	30,000	207
1.001 - 1.750	25.4 - 44.4	163 - 229	28,500	197
1.751 - 2.500	44.4 - 63.5	163 - 229	27,000	186
2.501 - 3.125	63.5 - 79.4	163 - 229	25,500	176
3.126 - 3.625	79.4 - 92.0	163 - 229	24,000	166
3.626 - 4.375	92.1 - 111.1	163 - 229	22,500	155
4.376 - 5.000	111.1 - 127.0	163 - 229	21,000	145
5.001 - 5.750	127.0 - 146.0	163 - 229	19,500	135
5.751 - 10.000	146.0 - 254.0	163 - 229	18,000	124

Descripción. VERSA-BAR FC-200 es un hierro gris cuya característica principal es su excelente maquinabilidad, esto aumenta la velocidad de corte y reduce el desgaste prematuro de las herramientas. Esta especificación es similar a la ASTM A48 Clase 30.¹

Tratamiento térmico. VERSA-BAR FC-200 puede tratarse en aceite para aumentar la dureza en la periferia, aumentando así la resistencia al desgaste. Otro tratamiento térmico usual es el recocido, usado para reducir la dureza, y mejorar el mecanizado.²

Disco de Freno Original.

Tabla 48. Comparación de la composición química Disco Original.

Fuente: Los Autores.

	Cant. CU (%)	Cant. Mn (%)	Cant. Cr (%)	Cant. Ni (%)
Disco Original	0,056	0,135	0,081	0,007
VERSA BAR	0	0,40 - 0,80	0	0

La dureza Rockwell en el disco original es de **88,67 HRB** y pasando a Dureza Brinell (BHN) tenemos un valor de **180 BHN** que está dentro del rango que especifica la tabla 49.

¹ Manual técnico VERSA-BAR. Barras Fundidas. Pag.12

² Manual técnico VERSA-BAR. Barras Fundidas. Pag.12

Tabla 49. Dureza y límite de resistencia a la tracción de VERSA-BAR FC-300.

Fuente: VERSA-BAR.

Dimensión		Dureza	UTS (min.)	
(pulgada)	(mm)		(Psi)	(MPa)
hasta - 1.000	hasta - 25.4	197 - 285	40,000	276
1.001 - 2.000	25.4 - 50.8	197 - 269	37,000	255
2.001 - 3.125	50.8 - 79.4	197 - 269	35,500	245
3.126 - 4.125	79.4 - 104.7	197 - 269	34,000	235
4.126 - 6.250	104.8 - 158.7	197 - 269	30,000	207
6.251 - 10.250	158.7 - 260.3	179 - 255	27,000	186
10.251 - 13.500	260.3 - 345.0	179 - 255	25,500	176
13.501 - 21.000	342.9 - 533.4	179 - 255	24,000	166

Descripción. VERSA-BAR FC-300 es un hierro gris con estructura totalmente perlítica que le brinda propiedades mecánicas superiores, buen acabado superficial y buena capacidad de endurecimiento. Otra característica importante que conviene señalar es su buena estanqueidad. Esto da buenos resultados en aplicaciones que trabajan a presión tales como componentes hidráulicos. Esta especificación es similar a la ASTM A48 Clase 40.¹

Tratamiento térmico. Se usa VERSA-BAR FC-300 cuando la dureza es un factor crítico para el componente, permitiendo utilizar el tratamiento térmico para aumentar la resistencia mecánica, la dureza y la resistencia al desgaste. Los tratamientos térmicos más usuales son: Inducción y endurecimiento por llama templando en aceite.²

¹ Manual técnico VERSA-BAR. Barras Fundidas. Pag.15

² Manual técnico VERSA-BAR. Barras Fundidas. Pag.15

4.4 Comparación de los resultados ensayos metalográficos.

A continuación se va a realizar la comparación de los resultados obtenidos del ensayo metalográfico de las probetas calentadas a 350°C y enfriadas al ambiente y en agua.

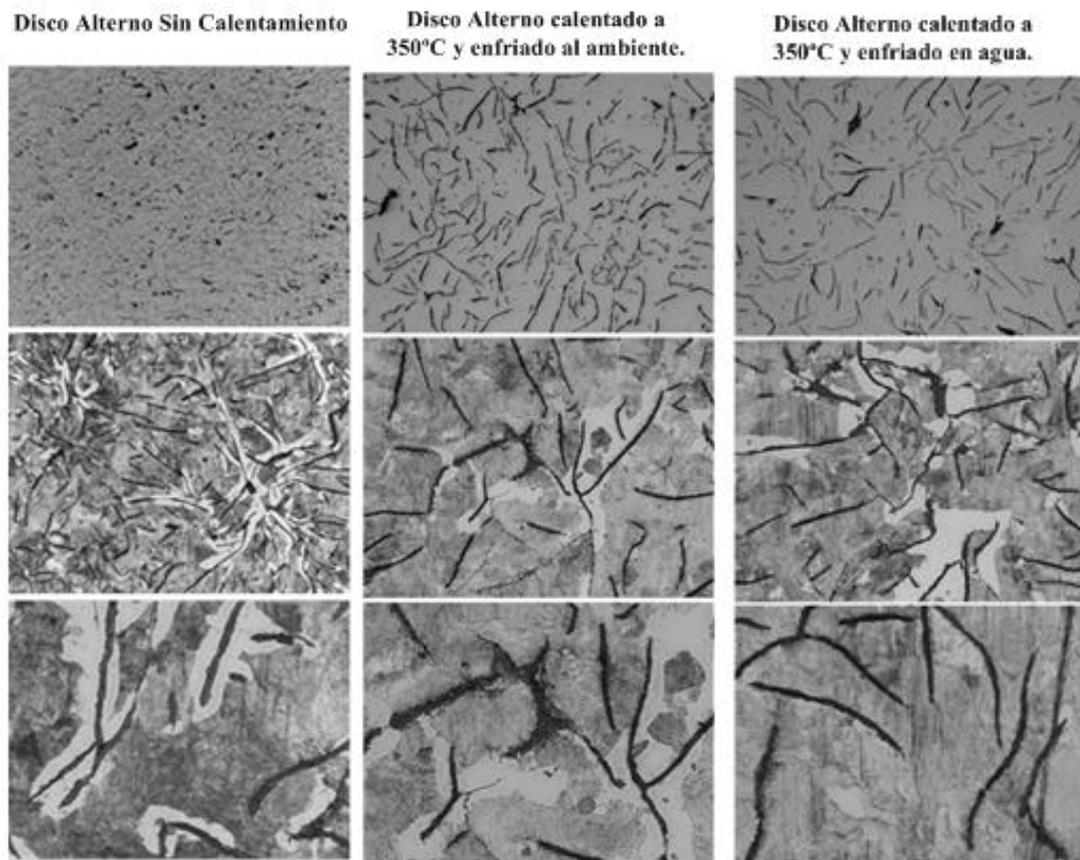


Grafico 89. Comparación Ensayos Metalográficos.

Fuente: Los Autores.

Como se observa en el grafico 89 la distribución del grafito varía entre uno y otro por motivo de que al momento de calentar y dejarle enfriar lentamente se está haciendo un recocido del mismo aumentando la elasticidad pero reduciendo la dureza.

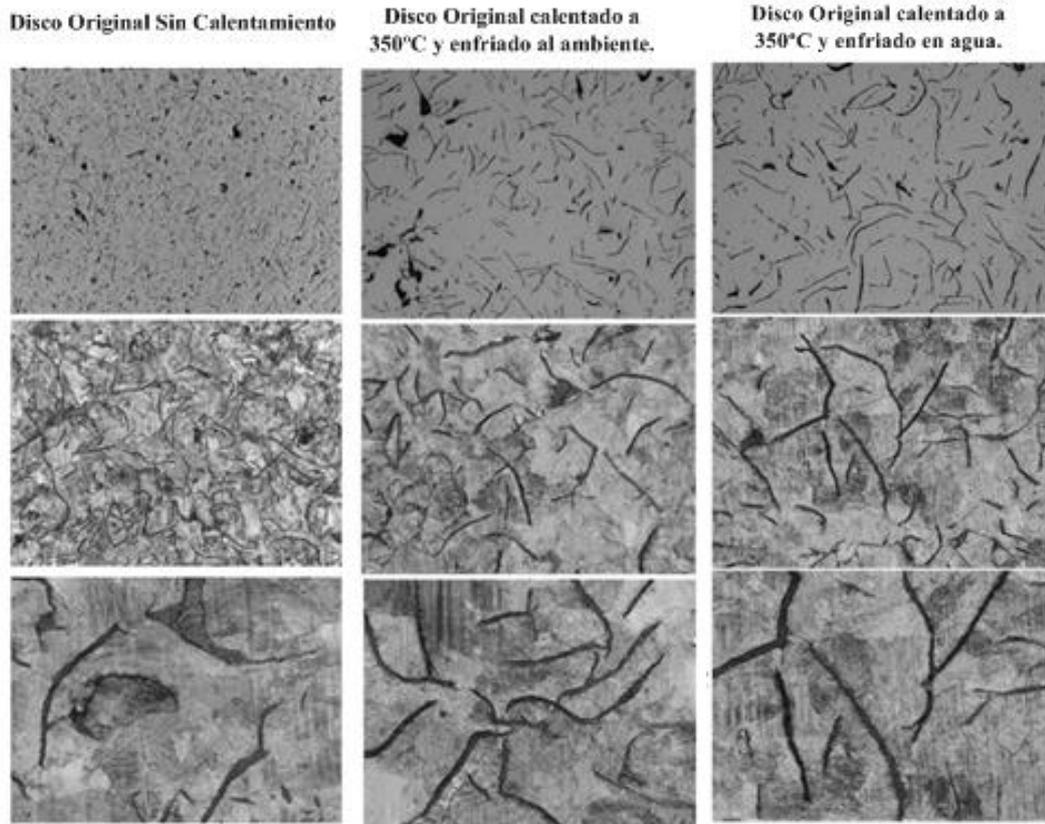


Grafico 90. Comparación Ensayos Metalográficos.

Fuente: Los Autores.

Como se observa en el grafico 90 la distribución del grafito varía entre uno y otro por motivo de que al momento de calentar y dejarle enfriar lentamente se está haciendo un tratamiento térmico favorable al material por su estructura totalmente perlítica aumentando la resistencia mecánica, la dureza y la resistencia al desgaste.

4.5 Comparación de los resultados del ensayo de dureza.

Tabla 50. Variación de la dureza en el disco alterno. Fuente: Los Autores.

Dureza Rockwell HRB			
Disco Alterno	Sin Calentamiento	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	89,42	88	87

Nota: Cada vez que el material sufra un tratamiento térmico pierde dureza.

Tabla 51. Variación de la dureza en el disco original. Fuente: Los Autores.

Dureza Rockwell HRB			
Disco Original	Sin Calentamiento	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	88,67	90	91

Nota: Cada vez que el material sufre un tratamiento térmico mantiene y mejora sus propiedades mecánicas.

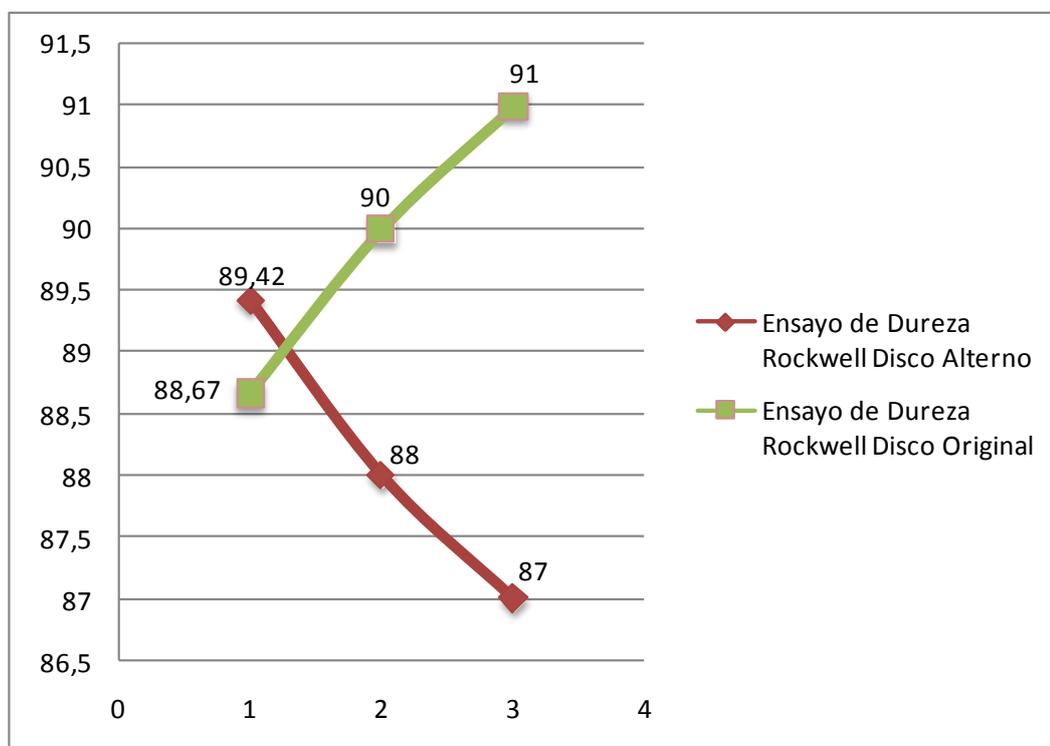


Grafico 91. Dureza Rockwell Disco Original vs Disco Alterno. Fuente: Los Autores.

4.6 Comparación de los resultados del ensayo de tracción.

Tabla 52. Variación de la resistencia máxima en el disco alterno. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Tracción Rm (MPa)		
Disco Alterno	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	102,14	142,21

Tabla 53. Variación de la resistencia máxima en el disco original. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Tracción Rm (MPa)		
Disco Original	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	176,51	188,57

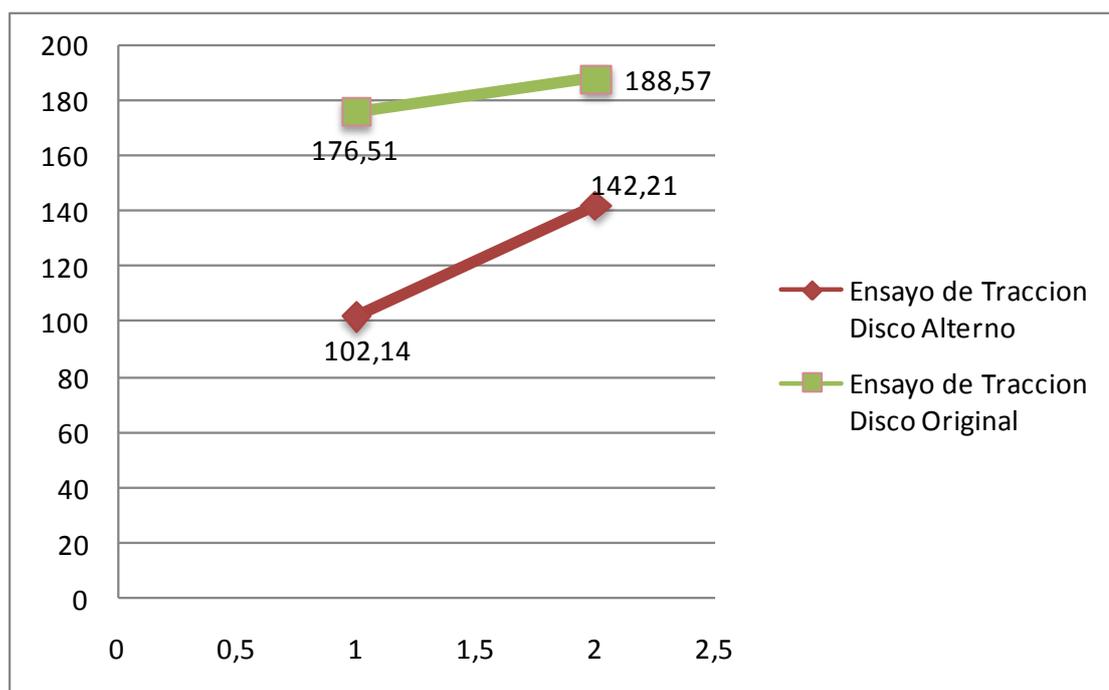


Grafico 92. Resistencia Máxima a la Tracción Disco Original vs Disco Alterno.

Fuente: Los Autores.

Tabla 54. Variación de la Carga Máxima en el disco alterno. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Tracción Carga Máxima Fm		
Disco Alterno	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	11,03	14,34

Tabla 55. Variación de la Carga Máxima en el disco original. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Tracción Carga Máxima Fm		
Disco Original	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	17	20,6

Nota: En este ensayo se observa que en cada caso, mientras se produce el tratamiento térmico aumenta la resistencia máxima Rm y la carga máxima Fm, acotando que el enfriamiento brusco en agua le hace al material más resistente al ensayo.

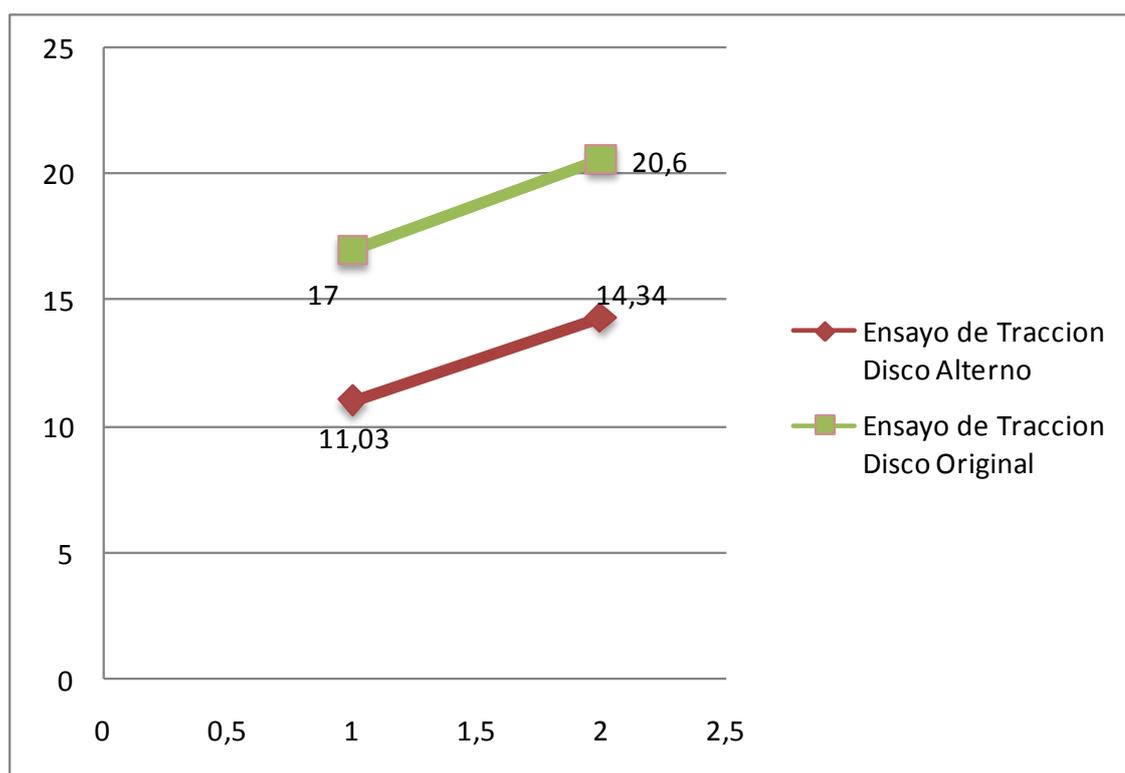


Gráfico 93. Carga Máxima a la Tracción Disco Original vs Disco Alterno.

Fuente: Los Autores.

4.7 Comparación de los resultados del ensayo de flexión.

Tabla 56. Variación de la Resistencia máxima en el disco alterno. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Flexión Rm (MPa)		
Disco Alterno	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	296,72	200,12

Tabla 57. Variación de la Resistencia máxima en el disco original. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Flexión Rm (MPa)		
Disco Original	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	356,78	398,32

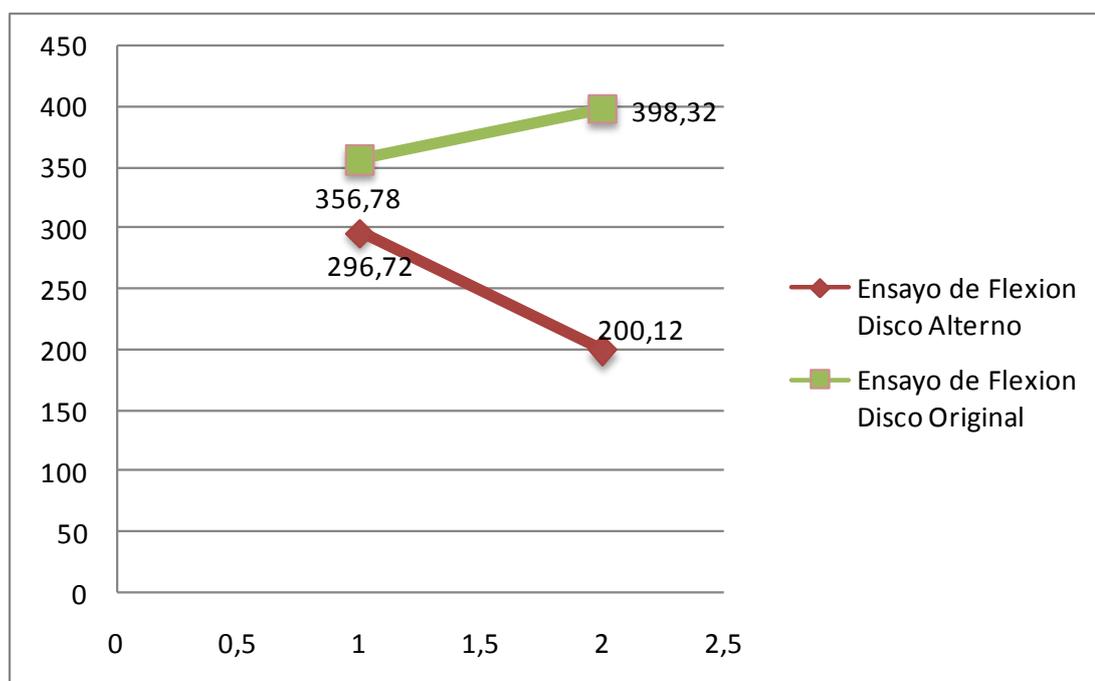


Grafico 94. Resistencia Máxima a la Flexión Disco Original vs Disco Alterno.

Fuente: Los Autores.

Tabla 58. Variación de la carga máxima en el disco alterno. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Flexión Carga Máxima Fm		
Disco Alterno	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	12,19	8,29

Tabla 59. Variación de la carga máxima en el disco original. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Flexión Carga Máxima Fm		
Disco Original	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	14,77	16,49

Nota: En este ensayo se observa que en el disco alterno cuando se produce este tratamiento térmico la resistencia y la carga máxima van disminuyendo progresivamente. Mientras que en el disco original la resistencia y carga máxima van aumentando progresivamente.

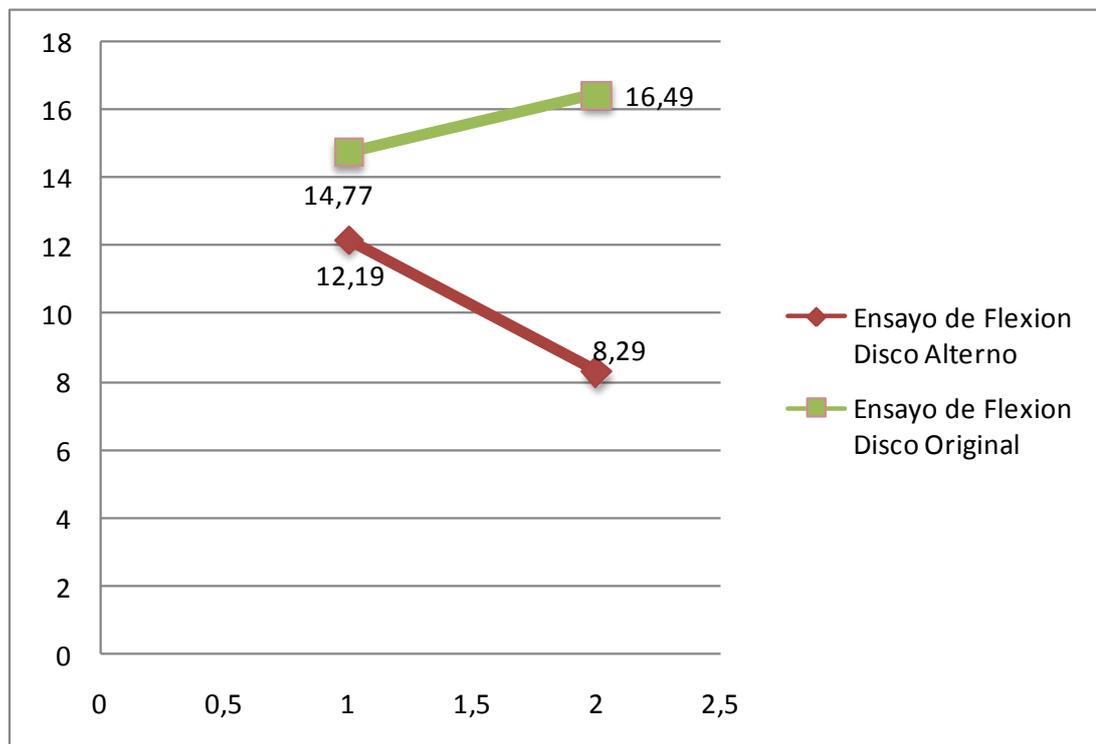


Gráfico 95. Carga Máxima a la Flexión Disco Original vs Disco Alterno.

Fuente: Los Autores.

4.8 Comparación de los resultados del ensayo de impacto.

Tabla 60. Variación de la carga máxima en el disco alterno. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Impacto Carga Máxima Fm		
Disco Alterno	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	3,84	4,13

Tabla 61. Variación de la carga máxima en el disco original. Fuente: Los Autores.

Ensayo de Impacto Carga Máxima Fm		
Disco Original	Calentado a 350°C enfriado al ambiente	Calentado a 350°C enfriado en agua
	3,65	4,01

Nota: En este ensayo se observa que ambos discos tienen valores similares para la resistencia al impacto.

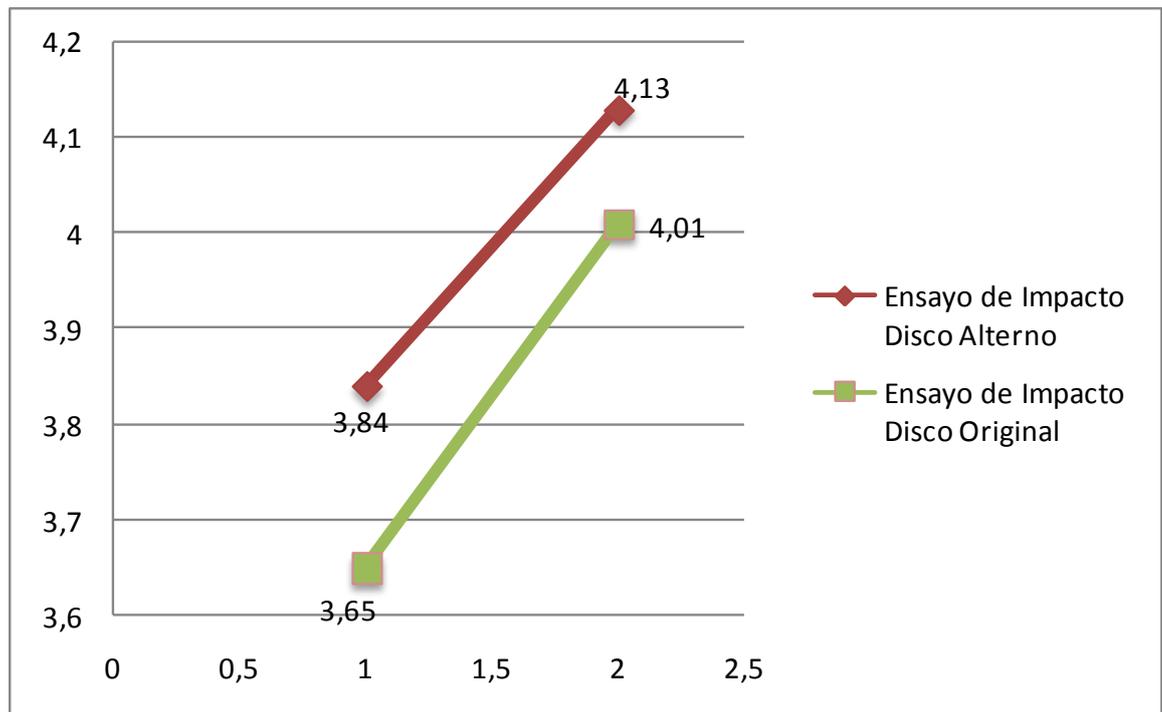


Gráfico 96. Carga Máxima al Impacto Disco Original vs Disco Alterno.

Fuente: Los Autores.

4.9 Comparación de los resultados del ensayo de durabilidad.

Tabla 62. Resultados obtenidos del ensayo de durabilidad. Fuente: Los Autores.

	Recorrido varilla de empuje (mm)	Presión de frenado (psi)	Ancho de pastillas (mm)	Desgaste de pastillas (mm)	Ancho Inicial disco de freno (mm)	Ancho final disco de freno (mm)	Desgaste (mm)
Disco Original	115	30	18	4	24,75	24,48	0,27
Disco Alterno	115	30	18	8	24,60	24,10	0,5

Con estos resultados se puede deducir que el tiempo de durabilidad del disco original es de:

1833 horas = 153 días = 5 meses de frenado continuo bajo las condiciones expuestas.

Con estos resultados se puede deducir el tiempo de durabilidad del disco alterno es de:

492 horas = 41 días = 1 mes de frenado continuo bajo las condiciones expuestas.

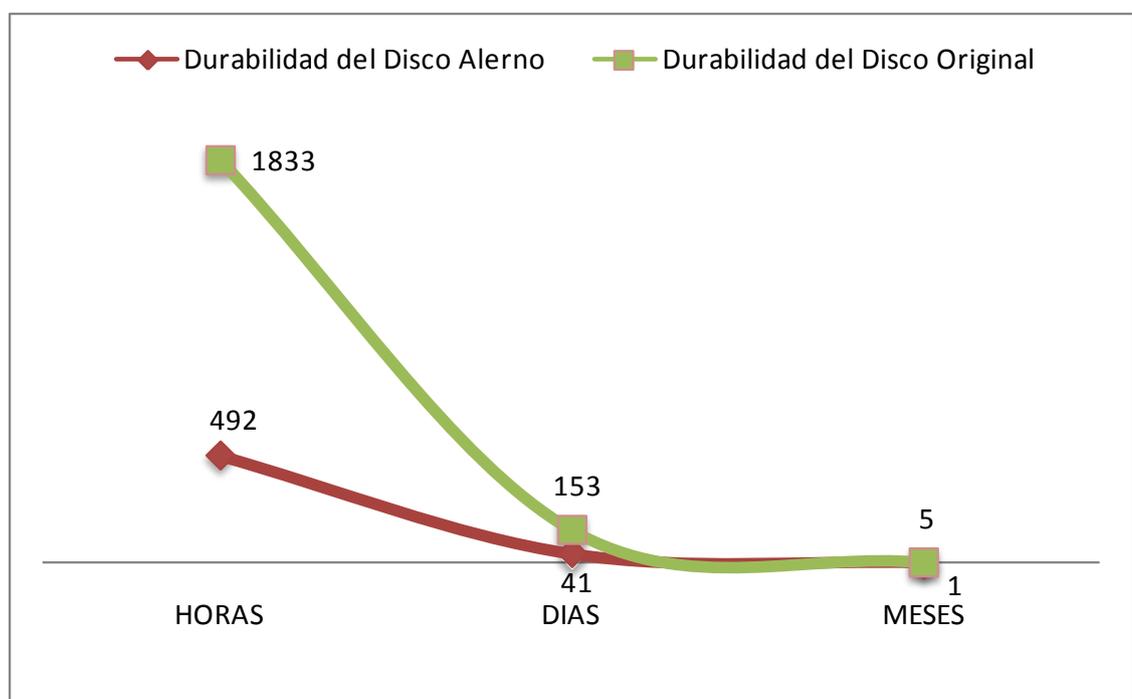


Gráfico 97. Durabilidad Disco Original vs Disco Alterno. Fuente: Los Autores.

4.10 Diagrama Hierro - Carbono.

En el diagrama hierro carbono se va a verificar las diferentes etapas en las que se encuentra la fundición gris del disco original y la del disco alterno. Para este proceso hay que considerar los siguientes puntos importantes:

- A.** La fundición gris es una aleación hierro-carbono hipoeutéctica con un porcentaje entre 2.5 y 4.0 % y de silicio entre 1 y 3 %.

- B.** El máximo porcentaje de carbono que es posible obtener en las aleaciones ferrosas es 6.67%.

- C.** Temperatura máxima de funcionamiento 350°C.

- D.** Porcentaje de Carbono en VERSA BAR FC 200 (Disco Alterno) 2.0 – 3.70

- E.** Porcentaje de Carbono en VERSA BAR FC 300 (Disco Original) 2.8 – 3.70

DIAGRAMA HIERRO - CARBONO

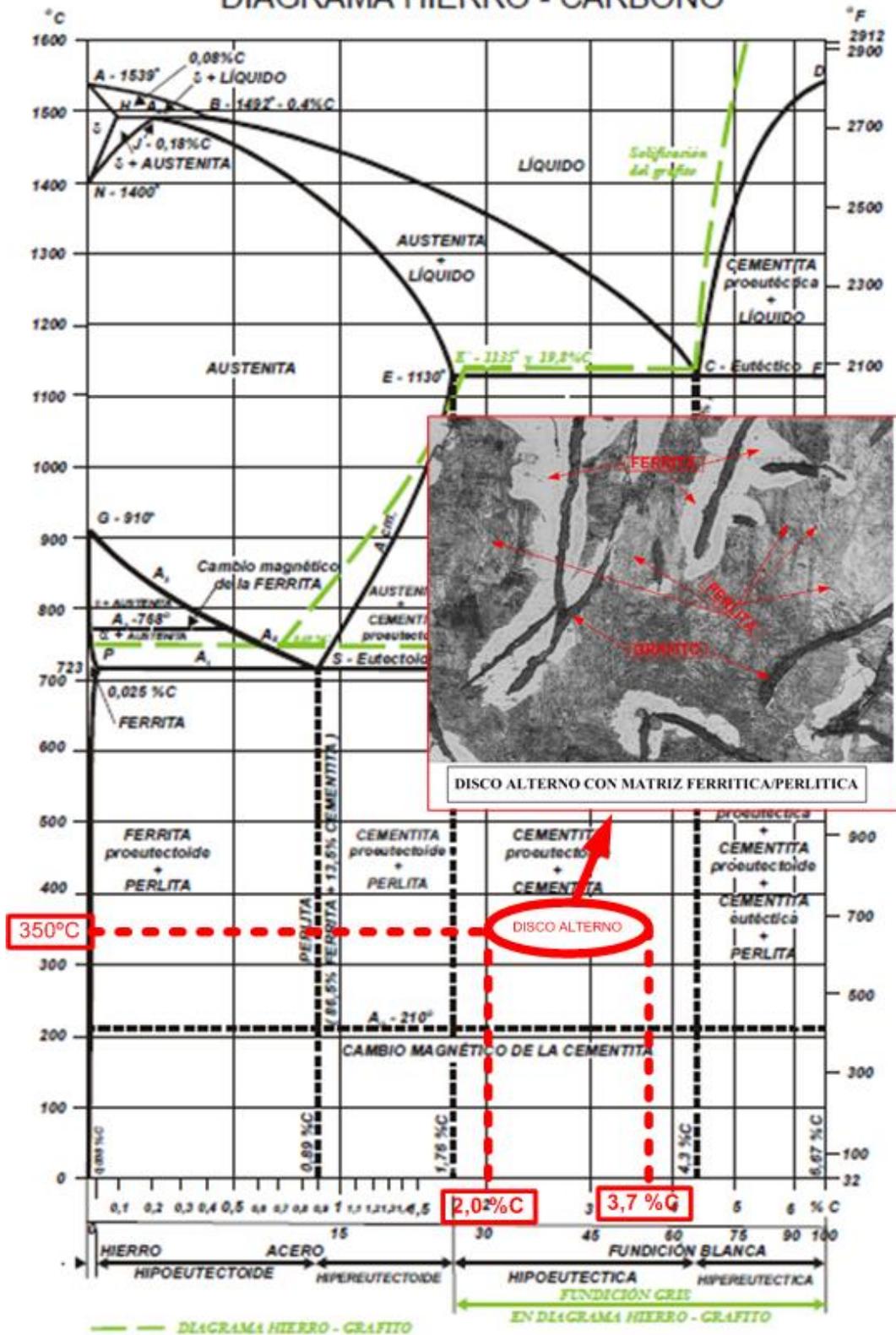


Grafico 98. Diagrama Hierro Carbono Disco Alterno. Fuente: Los Autores.

DIAGRAMA HIERRO - CARBONO

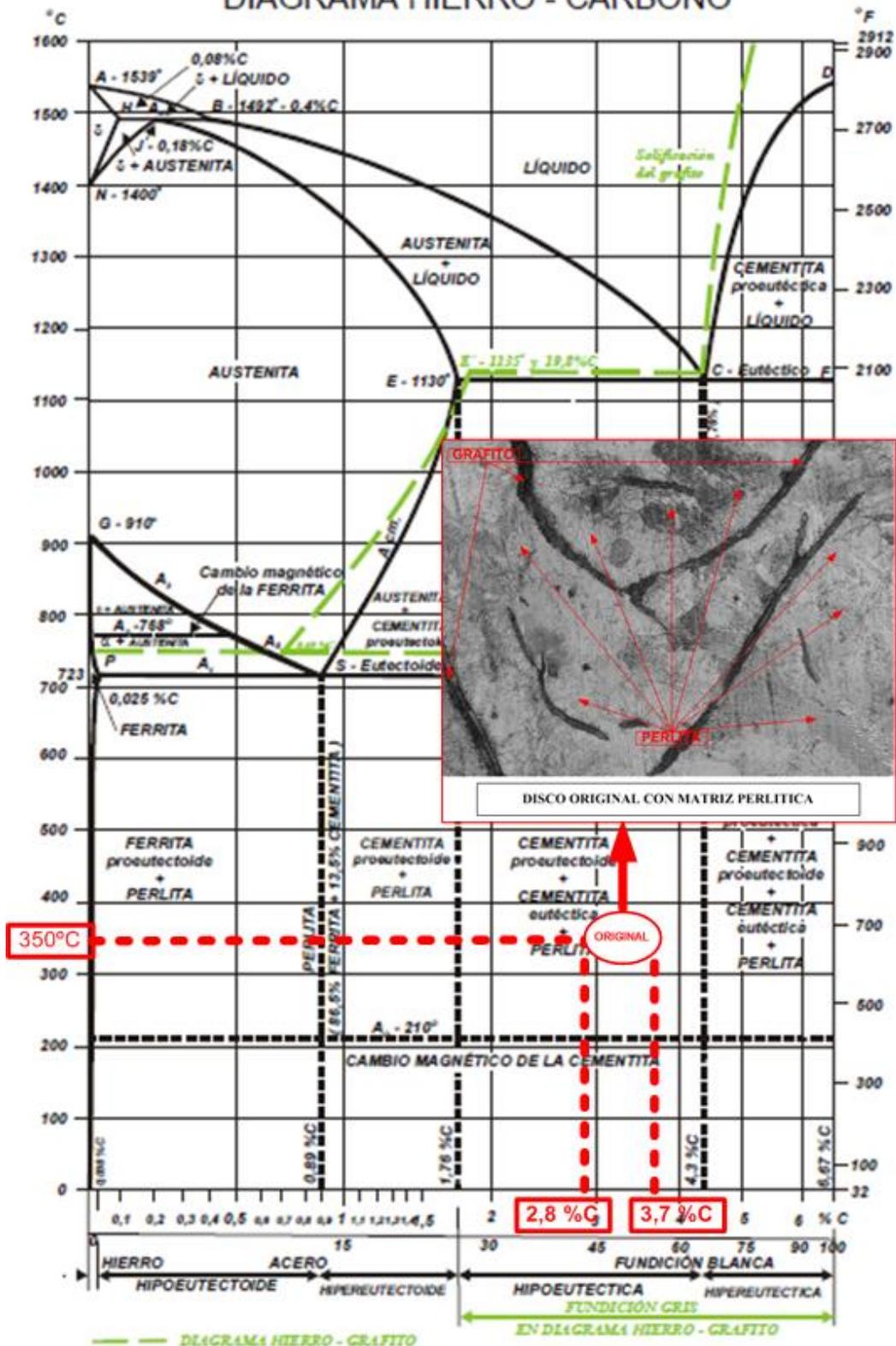


Gráfico 99. Diagrama Hierro Carbono Disco Original. Fuente: Los Autores.

Como se observa en los gráficos 98 y 99 ambos discos de freno son de fundición gris hipoeutéctica porque se encuentran dentro del rango de carbono de 1,76%C hasta 4,3%C; la diferencia está en que el disco alterno está constituido por una matriz ferrítica/perlítica y el disco original en una matriz netamente perlítica, esto implica que la ferrita al ser una fase blanda de bajo contenido en carbono presenta baja resistencia a la tracción pero alta ductilidad, dando al disco alterno propiedades mecánicas diferentes a las del disco original debido a que la matriz perlítica tiene muy buenas propiedades mecánicas y posee mayor dureza y resistencia a la tracción que la ferrita. Tiene relativamente buena tenacidad y gran resistencia al desgaste pero su ductilidad es más baja.

4.11 Comparación de los microconstituyentes presentes en los ensayos metalográficos.

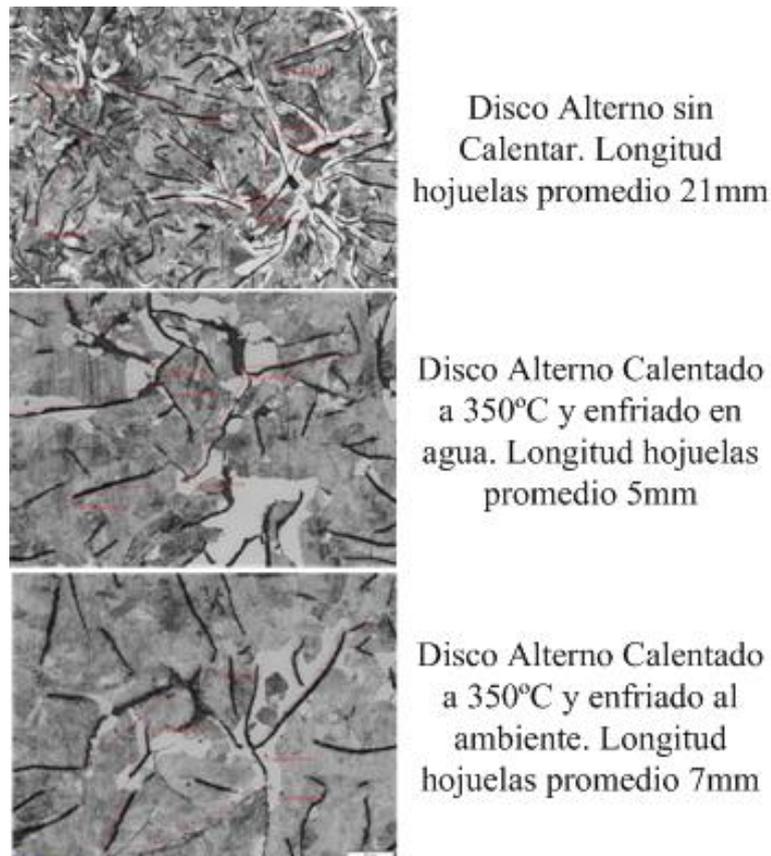
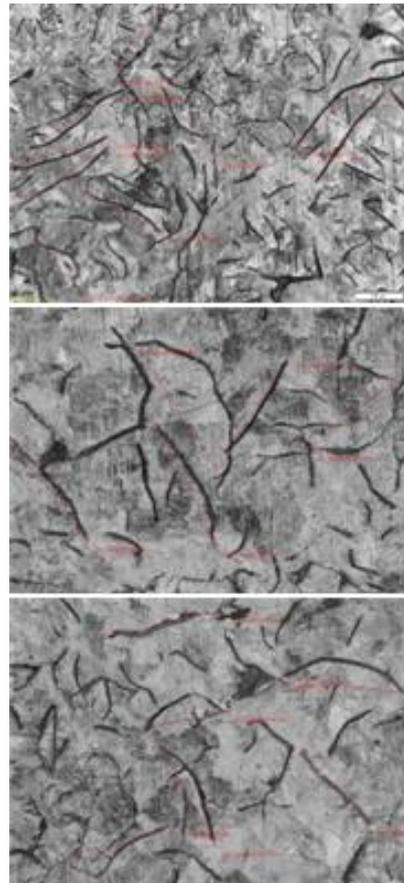


Grafico 100. Diferencia Longitud Hojuelas Grafito Disco Alterno. Fuente: Los Autores.



Disco Original sin Calentar. Longitud hojuelas promedio 21mm

Disco Original Calentado a 350°C y enfriado en agua. Longitud hojuelas promedio 5mm

Disco Original Calentado a 350°C y enfriado al ambiente. Longitud hojuelas promedio 6mm

Grafico 101. Diferencia Longitud Hojuelas Grafito Disco Original. Fuente: Los Autores.

Como se observa en los gráficos 100 y 101 se puede apreciar que las hojuelas de grafito en ambos discos son de tipo A para cuando no se calientan y tipo C para cuando se calientan y se enfrían en agua y al ambiente.

La longitud de las hojuelas cuando no están calentados son de tipo 3 y cuando se calientan y enfrían son de tipo 5.

Con esto se puede acotar que el grafito tipo A es el que da mejores características. El tipo C da resistencia al choque térmico, pero débil resistencia a la tracción.

Concluyendo esta comparación se puede decir que ambos discos tienen la misma transformación de las hojuelas de grafito pero la diferencia está en el tipo de matriz de cada uno, teniendo el disco alterno una matriz ferrítica/perlítica mientras que el original una matriz netamente perlítica.

4.12 Comparación de la composición química entre el Disco Alterno y el Original.

Ya que en la Republica del Ecuador no hay una norma para la fabricación de discos de freno y en vista de que el disco de freno alternativo utilizado en este análisis es de procedencia colombiana, se va a tomar de referencia la Norma Técnica Colombiana NTC 1783 “DISCOS PARA FRENOS DE FUNDICION GRIS”; para especificar la composición química del disco alternativo y según el Catalogo VERSA BAR FC300 para el disco original.

A continuación se detalla la tabla comparativa de la composición química entre el disco alternativo y el disco original según la norma técnica colombiana y el catalogo VERSABAR.

Tabla 63. Comparación composición química Disco Aterno vs Disco Original.

Fuente: Los Autores.

ELEMENTO	CONTENIDO %	
	DISCO ALTERNO *	DISCO ORIGINAL **
Carbono Total	3,00 - 3,70	2,80 - 3,70
Silicio	1,30 - 2,80	2,20 - 2,60
Manganeso	0,9 máx.	0
Fosforo	0,20 máx.	0,10 máx.
Azufre	0,15 máx.	0,05 - 0,25
Cromo	0	0,05 máx.
* Datos obtenidos de la norma técnica colombiana NTC 1783		
** Datos obtenidos del catalogo VERSA-BAR FC 300		

Tabla 64. Comparación composición química Disco Aterno vs Disco Original.

Ensayo Absorción Atómica. Fuente: Los Autores.

ELEMENTO	CONTENIDO %	
	DISCO ALTERNO *	DISCO ORIGINAL *
Carbono Total	**	**
Silicio	**	**
Manganeso	0,136	0,135
Fosforo	**	**
Azufre	**	**
Cobre	0,107	0,056
Níquel	0,006	0,007
Cromo	0,046	0,081
* Datos obtenidos del ensayo de Absorción Atómica		
** No se pudo determinar por falta de la lámpara de cátodo hueco para determinar ese componente.		

A continuación se explica en que influye cada componente mencionado en las tablas 63 y 64.

El alto contenido de carbono baja las características mecánicas, reduce la tendencia al temple, mejora la colabilidad y la exactitud del moldeado.

El carbono y el silicio en las fundiciones van de la mano ya que si se tiene altos contenidos de ambos componentes se pierde resistencia debido a que se promueve la formación de ferrita y el engrosamiento de la perlita. Por ese motivo la diferencia de ambos componentes en la tabla 63.

El manganeso existente en ambos discos como se indica en la tabla 64; pero por tener porcentajes menores al 1% se puede decir que para el disco alterno es un componente esencial en la matriz ferrítica y para el disco original es un gran promotor de la perlita. Sin el manganeso en cualquiera de las fundiciones se formaría el indeseable sulfuro de hierro en el límite del grano, para esto existe el balanceo con azufre formando sulfuro de manganeso el cual es menos dañino ya que se distribuye dentro del grano.

El fósforo no tiene casi efecto en la grafitización; pero mejora la fluidez gracias a la formación de un eutéctico de baja temperatura de solidificación llamado esteadita. Este eutéctico se presenta cuando el contenido de fósforo es mayor al 0,15%.

El cobre favorece la aparición de grafito y da buena maquinabilidad al hierro.

El níquel facilita la formación de grafito y de perlita, aumenta la dureza y la resistencia a la tensión del hierro.

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

A continuación se muestra dos tablas sobre la influencia de los elementos aleados sobre el grafito, carburos, matriz y puntos críticos.

Tabla 65. Influencia que los diversos elementos aleados ejercen sobre la formación del grafito y de los carburos y sobre las características de la matriz.

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

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

Tabla 66. Influencia que tienen los diversos elementos de aleación sobre los puntos críticos. Fuente: <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2001/adi/cast.iron.html>

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

CAPITULO 5

5. Análisis Estadístico de los Resultados Obtenidos.

Para esto se realiza el estudio estadístico de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión, tracción, impacto y dureza realizados en los discos de freno que se calentaron a 350°C y se enfriaron al ambiente y en agua respectivamente. Con la finalidad de obtener la equivalencia o diferencia que existe entre el disco original y disco alterno, en la cual se utilizara un análisis y diseño experimental completamente al azar, donde su principal herramienta es el análisis de la varianza de un factor que se puede encontrar en la tabla ANOVA que indica un valor F que significa distribución F.

5.1 Ensayo de flexión de los discos de freno calentados a 350°C y enfriados en Agua y al Ambiente.

5.1.1 Ensayo de flexión de los discos calentados a 350 °C y enfriados en Agua.

Tabla 67. Resultados del ensayo de flexión de los discos de freno calentados a 350°C y enfriados en agua. Fuente: Los Autores.

Original	Alterno
419,7MPa	253,22MPa
376,93MPa	147,15MPa

El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones ($K > 2$) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés.¹

Para el análisis de varianza primero se necesitan los Valores de K y n respectivamente.

K = número de tratamientos (original y alterno).

n = número total de observaciones (valores de los resultados).

¹ http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap4-7.htm

Planteamiento de las Hipótesis.

Hipótesis nula: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_0: \mu_o = \mu_a$$

H_0 = hipótesis nula

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Hipótesis alternativa: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_1: \mu_o \neq \mu_a$$

H_1 = hipótesis alternativa

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Esta probabilidad se determina antes de tomar la muestra o realizar cualquier cálculo. Los niveles de significancia 0,05 y 0,01 son los más aplicados, pero en teoría se puede elegir cualquier valor entre 0 y 1. Para el caso se utilizara el nivel de significancia del 5% =0,05; porque se rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Determinación Estadístico de Prueba.

El estadístico de prueba sigue la distribución F.

Esta distribución F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba en varios casos. Se usa para probar si dos muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales, y también es útil cuando se desean comparar simultáneamente varias medias poblacionales.¹

¹ <http://www.galeon.com/colposfes/est501/dca/dca.htm>

Regla de Decisión.

Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico F, se lo encuentra en la tabla 68, para usar esta tabla es necesario conocer los grados de libertad de numerador y del denominador. El número de grados del numerador es igual al número de tratamientos, designado por k, menos 1. El número de grados de libertad del denominador es igual al número total de observaciones, n, menos el número de tratamientos.

K=2 tratamientos

n=4 observaciones

Numerador = $k-1 = 2-1 = 1$

Denominador = $n-k = 4-2 = 2$

Tabla 68. Tabla de valores críticos de la Distribución F (0,05).

Fuente: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf>.

TABLA VALOR CRITICO			
g.d.l	1	2	3
1	161,4	199,5	215,7
2	18,513	19,000	19,164
3	10,128	9,552	9,277
4	7,709	6,944	6,591
5	6,608	5,786	5,409
6	5,987	5,143	4,757
7	5,591	4,737	4,347
8	5,318	4,459	4,066
9	5,117	4,256	3,863
10	4,965	4,103	3,708

El valor crítico para esos grados de libertad es de 18,5. Así que la regla de decisión es rechazar H_0 si el valor calculado para F es mayor que 18,5

Selección de la muestra.

Es conveniente resumir los cálculos de la Distribución F en una tabla ANOVA utilizando la varianza de un factor. El formato de la tabla ANOVA está en la tabla 69.

Tabla 69. Análisis de la Varianza de un factor. Fuente: Los Autores.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico F
Tratamientos	39255,5	1	39255,4	12,005	18,512,8
Error	6540,05	2	32700,2		
Total	45795,5	3			

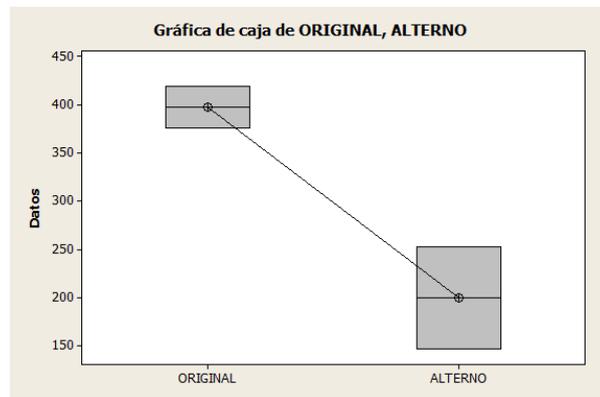


Gráfico 102. Gráfica de caja de las medias de los esfuerzos obtenidos del ensayo de flexión de los discos de freno original vs alterno. Enfriados en agua.

Fuente: Los Autores.

En el gráfico 102 se observa que no hay igualdad de las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original con las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno por motivo que no se obtuvieron el suficiente número de probetas para realizar el ensayo cuantas veces fueran necesarias.

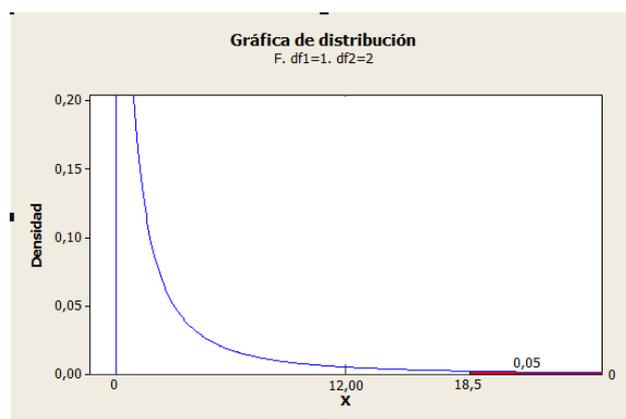


Gráfico 103. Distribución F de las medias de los esfuerzos obtenidos del ensayo de flexión de los discos de freno original vs alterno. Enfriados en agua.

Fuente: Los Autores.

Conclusión: En el gráfico 103 se observa que el valor de $F=12,005$ es menor que el valor crítico de 18,5, por lo que se acepta la hipótesis nula que dice:

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua”.

5.1.2 Ensayo de flexión de los discos calentados a 350 °C y enfriados al Ambiente.

Tabla 70. Resultados del ensayo de flexión de los discos de freno calentados a 350°C y enfriados al ambiente. Fuente: Los Autores.

Original	Alterno
417,28MPa	298,89MPa
296,23MPa	294,54MPa

El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones ($K > 2$) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés.¹

Para el análisis de varianza primero se necesita los Valores de K y n respectivamente.

K = número de tratamientos (original y alterno).

n = número total de observaciones (valores de los resultados).

Planteamiento de las Hipótesis.

Hipótesis nula: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

¹ http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap4-7.htm

$$H_0: \mu_o = \mu_a$$

H_0 = hipótesis nula

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Hipótesis alternativa: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_1: \mu_o \neq \mu_a$$

H_1 = hipótesis alternativa

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Esta probabilidad se determina antes de tomar la muestra o realizar cualquier cálculo. Los niveles de significancia 0,05 y 0,01 son los más aplicados, pero en teoría se puede elegir cualquier valor entre 0 y 1. Para el caso se utilizara el nivel de significancia del 5% =0,05; porque se rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Determinación Estadístico de Prueba.

El estadístico de prueba sigue la distribución F.

Esta distribución F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba en varios casos. Se usa para probar si dos muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales, y también es útil cuando se desean comparar simultáneamente varias medias poblacionales.¹

¹ <http://www.galeon.com/colposfes/est501/dca/dca.htm>

Regla de Decisión.

Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico F, se lo encuentra en la tabla 71, para usar esta tabla es necesario conocer los grados de libertad de numerador y del denominador. El número de grados del numerador es igual al número de tratamientos, designado por k, menos 1. El número de grados de libertad del denominador es igual al número total de observaciones, n, menos el número de tratamientos.

K=2 tratamientos

n=4 observaciones

Numerador = $k-1 = 2-1 = 1$

Denominador = $n-k = 4-2 = 2$

Tabla 71. Tabla de valores críticos de la Distribución F (0,05).

Fuente: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf>.

TABLA VALOR CRITICO			
g.d.l	1	2	3
1	161,4	199,5	215,7
2	18,513	19,000	19,164
3	10,128	9,552	9,277
4	7,709	6,944	6,591
5	6,608	5,786	5,409
6	5,987	5,143	4,757
7	5,591	4,737	4,347
8	5,318	4,459	4,066
9	5,117	4,256	3,863
10	4,965	4,103	3,708

El valor crítico para esos grados de libertad es de 18,5. Así que la regla de decisión es rechazar H_0 si el valor calculado para F es mayor que 18,5

Selección de la muestra.

Es conveniente resumir los cálculos de la Distribución F en una tabla ANOVA utilizando la varianza de un factor. El formato de la tabla ANOVA está en la tabla 72.

Tabla 72. Análisis de la Varianza de un factor. Fuente: Los Autores.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	19588.8016	1	19588.8016	1.00672193	18.51282051
Error	38916.0125	2	19458.00625		
Total	58504.8141	3			

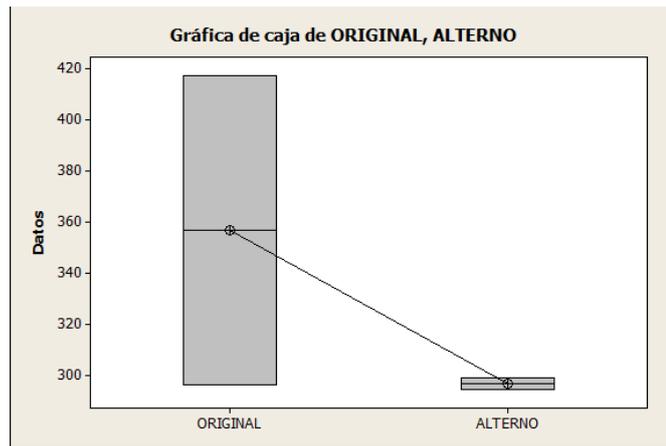


Grafico 104. De Caja de datos de los discos Original vs Alterno Ensayo Flexión.

Fuente: Los Autores.

En la gráfica 104 de caja de datos nos dice que no hay igualdad en el disco original con el disco alterno en el ensayo de flexión enfriado al ambiente, por motivo que no se tiene suficientes muestras para realizar el análisis correspondiente.

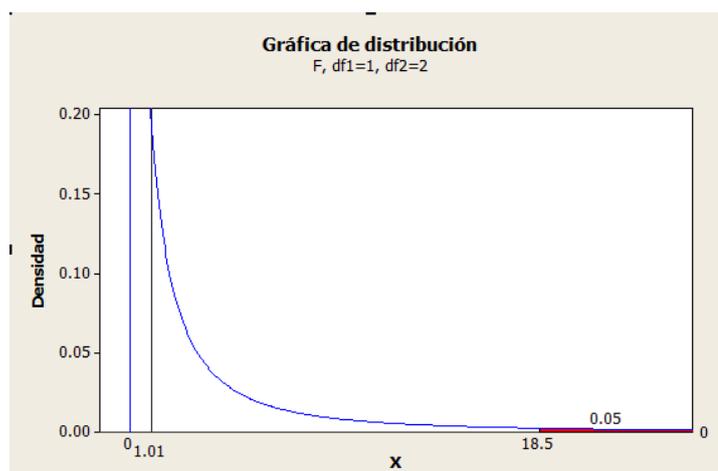


Grafico 105. Distribución F.

Fuente: Los Autores.

Conclusión: En el gráfico 105 se observa que el valor de $F=1,0067$ es menor que el valor crítico de 18,5, por lo que se encuentra dentro del régimen del valor crítico y se concluye que se acepta la hipótesis nula

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y enfriados al ambiente”.

5.2 Ensayo de Tracción de los discos de freno calentados a 350°C y enfriados en Agua y al Ambiente.

5.2.1 Ensayo de tracción de los discos calentados a 350 °C y enfriados en Agua.

Tabla 73. Resultados del ensayo de tracción de los discos calentados a 350°C y enfriados en agua. Fuente: Los Autores.

Original	Alterno
196,37MPa	179,37 MPa
211,9 MPa	180,06 MPa
219,6 MPa	161,80 MPa
126,4 MPa	47,59 MPa

Para el análisis de varianza primero se necesita los Valores de K y n respectivamente.

K = número de tratamientos (original y alterno).

n = número total de observaciones (valores de los resultados).

Planteamiento de las Hipótesis.

Hipótesis nula: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_0: \mu_o = \mu_a$$

H_0 = hipótesis nula

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Hipótesis alternativa: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_1: \mu_o \neq \mu_a$$

H_1 = hipótesis alternativa

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Esta probabilidad se determina antes de tomar la muestra o realizar cualquier cálculo. Los niveles de significancia 0,05 y 0,01 son los más aplicados, pero en teoría se puede elegir cualquier valor entre 0 y 1. Para el caso se utilizara el nivel de significancia del 5% =0,05; porque se rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Determinación Estadístico de Prueba.

El estadístico de prueba sigue la distribución F.

Esta distribución F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba en varios casos. Se usa para probar si dos muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales, y también es útil cuando se desean comparar simultáneamente varias medias poblacionales.¹

Regla de Decisión.

Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico F, se lo encuentra en la tabla 74, para usar esta tabla es necesario conocer los grados de libertad de numerador y del denominador. El numero de grados del numerador es igual al número de tratamientos, designado por k, menos 1. El número de grados de libertad del denominador es igual al número total de observaciones, n, menos el número de tratamientos.

¹ <http://www.galeon.com/colposfes/est501/dca/dca.htm>

K=2 tratamientos

n=8 observaciones

Numerador = $k-1 = 2-1 = 1$

Denominador = $n-k = 8-2 = 6$

Tabla 74. Tabla de valores críticos de la Distribución F (0,05).

Fuente: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf>.

TABLA DEL VALOR CRITICO

g.d.l	1	2	3
1	161,4	199,5	215,7
2	18,513	19,000	19,164
3	10,128	9,552	9,277
4	7,709	6,944	6,591
5	6,608	5,786	5,409
6	5,987	5,143	4,757
7	5,591	4,737	4,347
8	5,318	4,459	4,066
9	5.117	4.256	3.863

El valor crítico para esos grados de libertad es de 5,98. Así que la regla de decisión es rechazar H_0 si el valor calculado para F es mayor que 5,98

Selección de la muestra.

Es conveniente resumir los cálculos de la Distribución F en una tabla ANOVA utilizando la varianza de un factor. El formato de la tabla ANOVA es la siguiente.

Tabla 75. Análisis de la Varianza de un factor. Fuente: Los Autores.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	4298,96	1	429,896	1,46694	598,737
Error	17583,3	6	2930,549		
Total	21882,3	7			

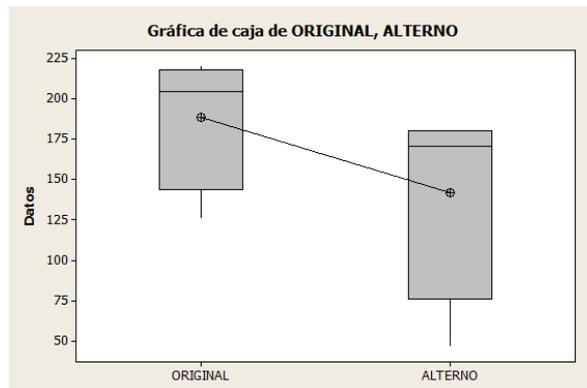


Gráfico 106. De Caja de datos de los discos Original vs Alterno Ensayo Tracción.

Fuente: Los Autores.

En la gráfica 106 de caja de datos dice que no hay igualdad en el disco original con el disco alterno en el ensayo de tracción enfriado en agua, se puede apreciar que las diferencias entre el disco original como el alterno son mínimas, tanto en las medias como en la variabilidad (en ambos casos mayor en el alterno), y no parecen significativas, entonces no se rechazaría la hipótesis nula para cualquier nivel de significación razonable. De hecho, los intervalos de confianza tienen bastantes valores comunes. Se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos disco.

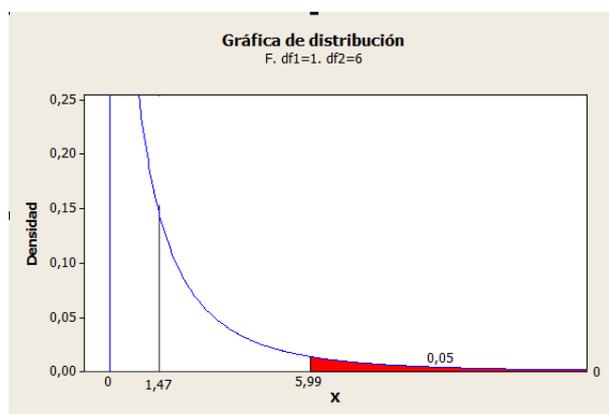


Gráfico 107. Distribución F. Fuente: Los Autores.

Conclusión: En el gráfico 107 se observa que el valor de $F=1,47$ es menor que el valor crítico de 5,99, por lo que se encuentra dentro del régimen del valor crítico y se concluye que se acepta la hipótesis nula

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua”.

5.2.2 Ensayo de Tracción de los discos calentados a 350 °C y enfriados al Ambiente.

Tabla 76. Resultados del ensayo de tracción de los discos calentados a 350°C y enfriados al ambiente. Fuente: Los Autores

Original	Alterno
219,44 MPa	172,38 MPa
289,79 MPa	55,291 MPa
160,30 MPa	135,60 MPa
36,51 MPa	45,30 MPa

Para el análisis de varianza primero se necesita los Valores de K y n respectivamente.

K = número de tratamientos (original y alterno).

n = número total de observaciones (valores de los resultados).

Planteamiento de las Hipótesis.

Hipótesis nula: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_0: \mu_o = \mu_a$$

H_0 = hipótesis nula

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Hipótesis alternativa: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_1: \mu_o \neq \mu_a$$

H_1 = hipótesis alternativa

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Esta probabilidad se determina antes de tomar la muestra o realizar cualquier cálculo. Los niveles de significancia 0,05 y 0,01 son los más aplicados, pero en teoría se puede elegir cualquier valor entre 0 y 1. Para el caso se utilizara el nivel de significancia del 5% =0,05; porque se rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Determinación Estadístico de Prueba.

El estadístico de prueba sigue la distribución F.

Esta distribución F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba en varios casos. Se usa para probar si dos muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales, y también es útil cuando se desean comparar simultáneamente varias medias poblacionales.¹

Regla de Decisión.

Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico F, se lo encuentra en la tabla 77, para usar esta tabla es necesario conocer los grados de libertad de numerador y del denominador. El numero de grados del numerador es igual al número de tratamientos, designado por k, menos 1. El número de grados de libertad del denominador es igual al número total de observaciones, n, menos el número de tratamientos.

K=2 tratamientos

n=8 observaciones

¹ <http://www.galeon.com/colposfes/est501/dca/dca.htm>

$$\text{Numerador} = k-1 = 2-1 = 1$$

$$\text{Denominador} = n-k = 8-2 = 6$$

Tabla 77. Tabla de valores críticos de la Distribución F (0,05).

Fuente: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf>.

TABLA DEL VALOR CRITICO			
g.d.l	1	2	3
1	161,4	199,5	215,7
2	18,513	19,000	19,164
3	10,128	9,552	9,277
4	7,709	6,944	6,591
5	6,608	5,786	5,409
6	5,987	5,143	4,757
7	5,591	4,737	4,347
8	5,318	4,459	4,066
9	5,117	4,256	3,863

El valor crítico para esos grados de libertad es de 5,99. Así que la regla de decisión es rechazar H_0 si el valor calculado para F es mayor que 5,99

Selección de la muestra.

Es conveniente resumir los cálculos de la Distribución F en una tabla ANOVA utilizando la varianza de un factor. El formato de la tabla ANOVA es la siguiente.

Tabla 78. Análisis de la Varianza de un factor. Fuente: Los Autores.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	11061	1	1,106	1,44220	5,987377
Error	46017	6	7,669		
Total	57077	7			

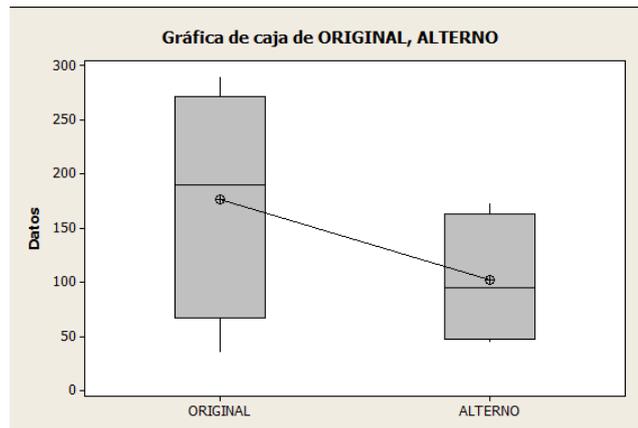


Gráfico 108. De Caja de datos de los discos Original vs Alterno Ensayo Tracción. Fuente: Los Autores.

En la gráfica 108 de caja de datos dice que no hay igualdad en el disco original con el disco alterno en el ensayo de tracción enfriado al ambiente se puede apreciar que las diferencias entre el disco original como el alterno son mínimas, tanto en las medias como en la variabilidad (en ambos casos mayor en el alterno), y no parecen significativas, entonces no se rechazaría la hipótesis nula para cualquier nivel de significación razonable. De hecho, los intervalos de confianza tienen bastantes valores comunes. Se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos disco.

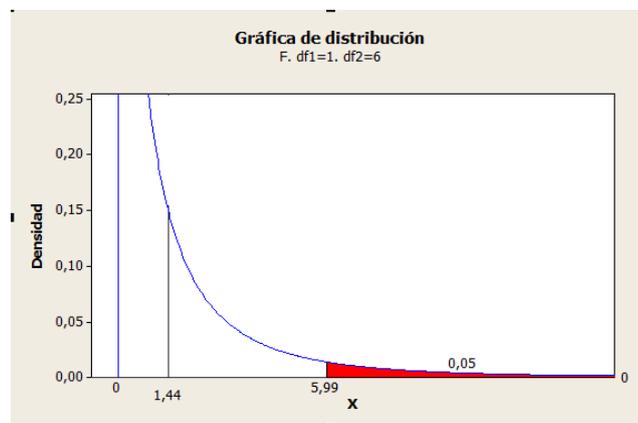


Gráfico 109. Distribución F. Fuente: Los Autores.

Conclusión: En el grafico 109 se observa que el valor de $F=1,47$ es menor que el valor critico de 5,99, por lo que se encuentra dentro del régimen del valor crítico y se concluye que se acepta la hipótesis nula

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y enfriados al ambiente”.

5.3 Ensayo de Impacto de los discos calentados a 350 °C y enfriados en Agua y al Ambiente.

5.3.1 Ensayo de impacto de los discos calentados a 350 °C y enfriados en Agua.

Tabla 79. Resultados del ensayo de impacto de los discos calentados a 350°C y enfriados en agua. Fuente: Los Autores.

Original	Alterno
4,341 J/cm ²	3,801 J/cm ²
3,663 J/cm ²	4,117 J/cm ²
4,186 J/cm ²	4,251 J/cm ²
3,861 J/cm ²	4,348 J/cm ²

Para el análisis de varianza primero se necesita los Valores de K y n respectivamente.

K = número de tratamientos (original y alterno).

n = número total de observaciones (valores de los resultados).

Planteamiento de las Hipótesis.

Hipótesis nula: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_0: \mu_o = \mu_a$$

H_0 = hipótesis nula

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Hipótesis alternativa: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_1: \mu_o \neq \mu_a$$

H_1 = hipótesis alternativa

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Esta probabilidad se determina antes de tomar la muestra o realizar cualquier cálculo. Los niveles de significancia 0,05 y 0,01 son los más aplicados, pero en teoría se puede elegir cualquier valor entre 0 y 1. Para el caso se utilizara el nivel de significancia del 5% =0,05; porque se rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Determinación Estadístico de Prueba.

El estadístico de prueba sigue la distribución F.

Esta distribución F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba en varios casos. Se usa para probar si dos muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales, y también es útil cuando se desean comparar simultáneamente varias medias poblacionales.¹

Regla de Decisión.

Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico F, se lo encuentra en la tabla 80 para usar esta tabla es necesario conocer los grados de libertad de numerador y del denominador. El numero de grados del numerador es igual al número de tratamientos, designado por k, menos 1. El número de grados de libertad del denominador es igual al número total de observaciones, n, menos el número de tratamientos.

¹ <http://www.galeon.com/colposfes/est501/dca/dca.htm>

K=2 tratamientos

n=8 observaciones

Numerador = $k-1 = 2-1 = 1$

Denominador = $n-k = 8-2 = 6$

Tabla 80. Tabla de valores críticos de la Distribución F (0,05).

Fuente: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf>.

TABLA DEL VALOR CRITICO

g.d.l	1	2	3
1	161,4	199,5	215,7
2	18,513	19,000	19,164
3	10,128	9,552	9,277
4	7,709	6,944	6,591
5	6,608	5,786	5,409
6	5,987	5,143	4,757
7	5,591	4,737	4,347
8	5,318	4,459	4,066
9	5.117	4.256	3.863

El valor crítico para esos grados de libertad es de 5,99. Así que la regla de decisión es rechazar H_0 si el valor calculado para F es mayor que 5,99

Selección de la muestra.

Es conveniente resumir los cálculos de la Distribución F en una tabla ANOVA utilizando la varianza de un factor. El formato de la tabla ANOVA es la siguiente.

Tabla 81. Análisis de la Varianza de un factor. Fuente: Los Autores.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	0,0271	1	0,02714	0,35898	5,98737
Error	0,4537	6	0,07561		
Total	0,4808	7			

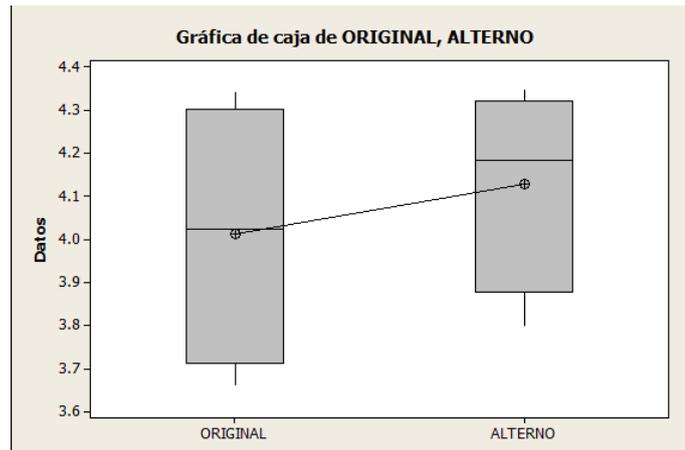


Gráfico 110. De Caja de datos de los discos Original vs Alterno Ensayo Impacto.
Fuente: Los Autores.

En la gráfica 110 de caja de datos nos dice que no hay igualdad en el disco original con el disco alterno en el ensayo de impacto enfriado en agua, se puede apreciar que las diferencias entre el disco original como el alterno son mínimas, tanto en las medias como en la variabilidad (en ambos casos mayor en el original), no parecen significativas, entonces no se rechazaría la hipótesis nula para cualquier nivel de significación razonable. De hecho, los intervalos de confianza tienen bastantes valores comunes. Se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos disco.

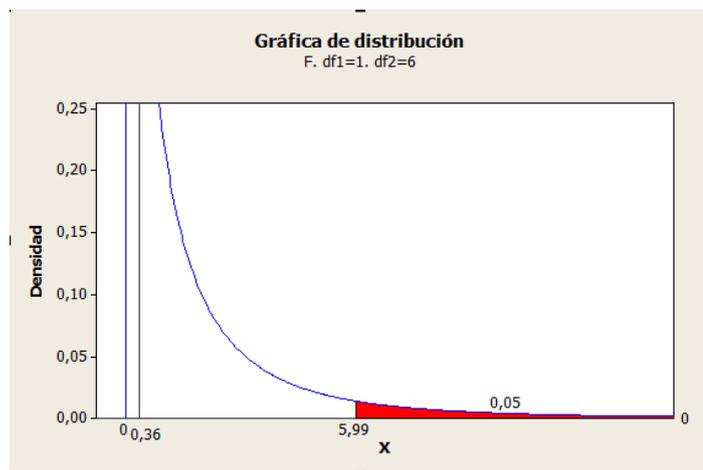


Gráfico 111. Distribución F. Fuente: Los Autores.

Conclusión: En el gráfico 111 se observa que el valor de $F=0,36$ es menor que el valor crítico de $5,99$, por lo que se encuentra dentro del régimen del valor crítico y se concluye que se acepta la hipótesis nula.

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua”.

5.3.2 Ensayo de impacto de los discos calentados a 350 °C y enfriados al Ambiente.

Tabla 82. Resultados del ensayo de impacto de los discos calentados a 350°C y enfriados al ambiente. Fuente: Los Autores.

Original	Alterno
3,24 J/cm ²	3,755 J/cm ²
3,328 J/cm ²	3,759 J/cm ²
3,743 J/cm ²	3,81 J/cm ²
4,321 J/cm ²	4,04 J/cm ²

Para el análisis de varianza primero se necesita los Valores de K y n respectivamente.

K = número de tratamientos (original y alterno).

n = número total de observaciones (valores de los resultados).

Planteamiento de las Hipótesis.

Hipótesis nula: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_0: \mu_o = \mu_a$$

H₀= hipótesis nula

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Hipótesis alternativa: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_1: \mu_o \neq \mu_a$$

H₁= hipótesis alternativa

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Esta probabilidad se determina antes de tomar la muestra o realizar cualquier cálculo. Los niveles de significancia 0,05 y 0,01 son los más aplicados, pero en teoría se puede elegir cualquier valor entre 0 y 1. Para el caso se utilizara el nivel de significancia del 5% =0,05; porque se rechaza la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Determinación Estadístico de Prueba.

El estadístico de prueba sigue la distribución F.

Esta distribución F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba en varios casos. Se usa para probar si dos muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales, y también es útil cuando se desean comparar simultáneamente varias medias poblacionales.¹

Regla de Decisión.

Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico F, se lo encuentra en la tabla 83 para usar esta tabla es necesario conocer los grados de libertad de numerador y del denominador. El numero de grados del numerador es igual al número de tratamientos, designado por k, menos 1. El número de grados de libertad del denominador es igual al número total de observaciones, n, menos el número de tratamientos.

K=2 tratamientos

n=8 observaciones

$$\text{Numerador} = k-1 = 2-1 = 1$$

$$\text{Denominador} = n-k = 8-2 = 6$$

¹ <http://www.galeon.com/colposfes/est501/dca/dca.htm>

Tabla 83. Tabla de valores críticos de la Distribución F (0,05).

Fuente: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf>.

TABLA DEL VALOR CRITICO

g.d.l	1	2	3
1	161,4	199,5	215,7
2	18,513	19,000	19,164
3	10,128	9,552	9,277
4	7,709	6,944	6,591
5	6,608	5,786	5,409
6	5,987	5,143	4,757
7	5,591	4,737	4,347
8	5,318	4,459	4,066
9	5.117	4.256	3.863

El valor crítico para esos grados de libertad es de 5,99. Así que la regla de decisión es rechazar H_0 si el valor calculado para F es mayor que 5,99

Selección de la muestra.

Es conveniente resumir los cálculos de la Distribución F en una tabla ANOVA utilizando la varianza de un factor. El formato de la tabla ANOVA es la siguiente.

Tabla 84. Análisis de la Varianza de un factor. Fuente: Los Autores.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	0.066978	1	0.066978	0.5118686	5.987378
Error	0.7851	6	0.13085		
Total	0.852078	7			

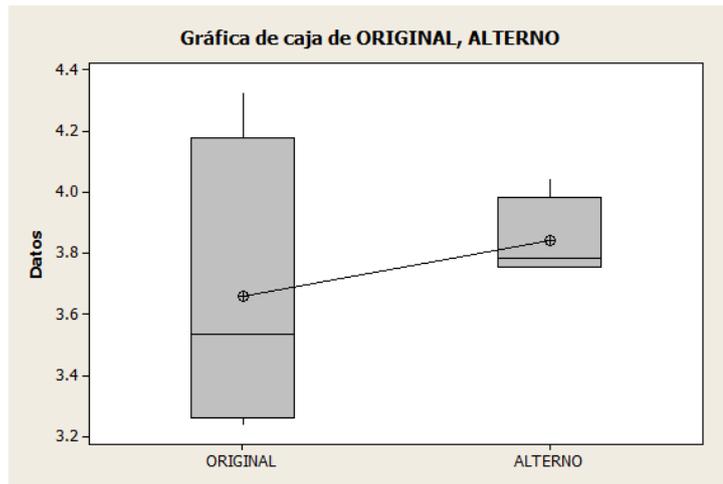


Gráfico 112. De Caja de datos de los discos Original vs Alterno Ensayo Impacto.

Fuente: Los Autores.

En la gráfica 112 de caja de datos nos dice que no hay igualdad en el disco original con el disco alterno en el ensayo de impacto enfriado al ambiente, se puede apreciar que las diferencias entre el disco original como el alterno son mínimas, tanto en las medias como en la variabilidad (en ambos casos mayor en el original), no parecen significativas, entonces no se rechazaría la hipótesis nula para cualquier nivel de significación razonable. De hecho, los intervalos de confianza tienen bastantes valores comunes. Se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos disco.

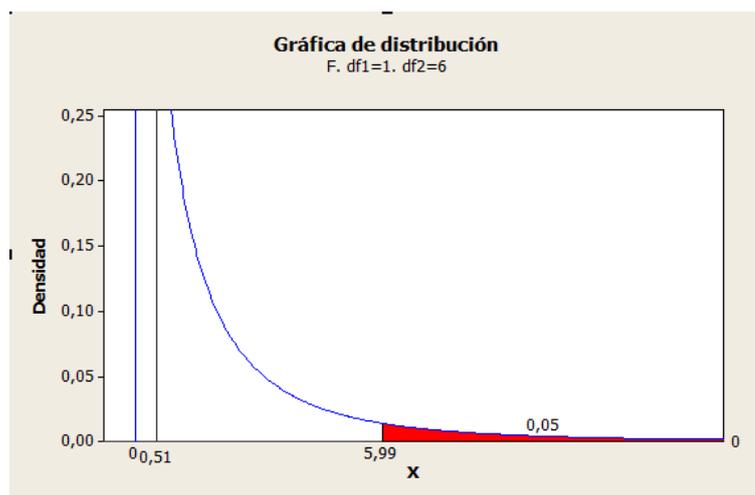


Gráfico 113. Distribución F. Fuente: Los Autores.

Conclusión: En el gráfico 113 se observa que el valor de $F=0,51$ es menor que el valor crítico de $5,99$, por lo que se encuentra dentro del régimen del valor crítico y se concluye que se acepta la hipótesis nula

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron al ambiente”.

5.4 Ensayo de Dureza del disco de freno Original y Alterno calentados y no calentados a 350°C.

5.4.1 Ensayo de dureza de los discos sin calentar a 350 °C.

Tabla 85. Resultados del ensayo de dureza de los discos sin calentar a 350°C.

Fuente: Los Autores.

Original	Alterno
91 HRB	98 HRB
92 HRB	94 HRB
101 HRB	92,5 HRB
70 HRB	69,5 HRB
95 HRB	93 HRB
83 HRB	89,5 HRB

Para el análisis de varianza primero se necesita los Valores de K y n respectivamente.

K = número de tratamientos (original y alterno).

n = número total de observaciones (valores de los resultados).

Planteamiento de las Hipótesis.

Hipótesis nula: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_0: \mu_o = \mu_a$$

H₀= hipótesis nula

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Hipótesis alternativa: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_1: \mu_o \neq \mu_a$$

H_1 = hipótesis alternativa

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Esta probabilidad se determina antes de tomar la muestra o realizar cualquier cálculo. Los niveles de significancia 0,05 y 0,01 son los más aplicados, pero en teoría se puede elegir cualquier valor entre 0 y 1. Para el caso se utilizara el nivel de significancia del 5% =0,05; porque se rechaza la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Determinación Estadístico de Prueba.

El estadístico de prueba sigue la distribución F.

Esta distribución F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba en varios casos. Se usa para probar si dos muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales, y también es útil cuando se desean comparar simultáneamente varias medias poblacionales.¹

Regla de Decisión.

Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico F, se lo encuentra en la tabla 86, para usar esta tabla es necesario conocer los grados de libertad de numerador y del denominador. El numero de grados del numerador es igual al número de tratamientos, designado por k, menos 1. El número de grados de libertad del denominador es igual al número total de observaciones, n, menos el número de tratamientos.

K=2 tratamientos

n=12 observaciones

$$\text{Numerador} = k-1 = 2-1 = 1$$

$$\text{Denominador} = n-k = 12-2 = 10$$

¹ <http://www.galeon.com/colposfes/est501/dca/dca.htm>

Tabla 86. Tabla de valores críticos de la Distribución F (0,05).

Fuente: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf>.

g.d.l	1	2	3
1	161,4	199,5	215,7
2	18,513	19,000	19,164
3	10,128	9,552	9,277
4	7,709	6,944	6,591
5	6,608	5,786	5,409
6	5,987	5,143	4,757
7	5,591	4,737	4,347
8	5,318	4,459	4,066
9	5,117	4,256	3,863
10	4,965	4,103	3,708
11	4,844	3,982	3,587

El valor crítico para esos grados de libertad es de 4,965. Así que la regla de decisión es rechazar H_0 si el valor calculado para F es mayor que 4,965

Selección de la muestra.

Es conveniente resumir los cálculos de la Distribución F en una tabla ANOVA utilizando la varianza de un factor. El formato de la tabla ANOVA es la siguiente.

Tabla 87. Análisis de la Varianza de un factor. Fuente: Los Autores.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	1.6875	1	1.6875	0.015298606	4.964602744
Error	1103.041667	10	110.3041667		
Total	1104.729167	11			

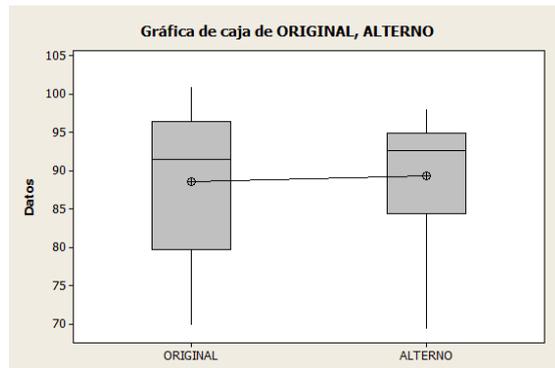


Gráfico 114. De Caja de datos de los discos Original vs Alterno Ensayo Dureza.

Fuente: Los Autores.

En la gráfica 114 de caja de datos nos dice que no hay igualdad en el disco original con el disco alterno en el ensayo de dureza sin calentar a 350°C, se puede apreciar que las diferencias entre el disco original como el alterno son mínimas, tanto en las medias como en la variabilidad (en ambos casos mayor en el original), no parecen significativas, entonces no se rechazaría la hipótesis nula para cualquier nivel de significación razonable. De hecho, los intervalos de confianza tienen bastantes valores comunes. Se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos discos.

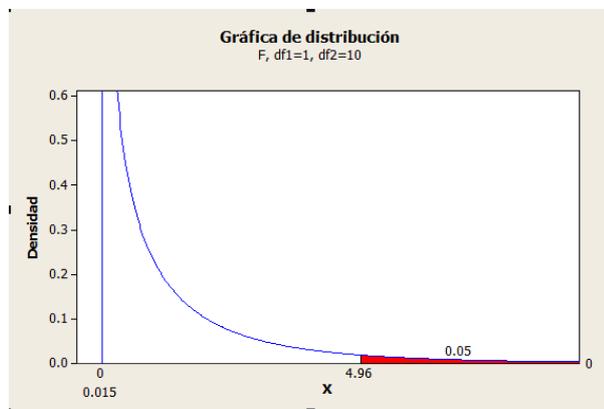


Gráfico 115. Distribución F. Fuente: Los Autores.

Conclusión: En el gráfico 115 se observa que el valor de $F=0,015$ es menor que el valor crítico de 4,96, por lo que se encuentra dentro del régimen del valor crítico y se concluye que se acepta la hipótesis nula

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos no son calentados a 350°C”.

5.4.2 Ensayo de dureza de los discos calentados a 350 °C y enfriados en agua.

Tabla 88. Resultados del ensayo de dureza de los discos calentadas a 350°C y enfriados en agua. Fuente: Los Autores.

Original	Alterno
91 HRB	85,5 HRB
89 HRB	86 HRB
92 HRB	85,5 HRB

Para el análisis de varianza primero se necesita los Valores de K y n respectivamente.

K = número de tratamientos (original y alterno).

n = número total de observaciones (valores de los resultados).

Planteamiento de las Hipótesis.

Hipótesis nula: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_0: \mu_o = \mu_a$$

H₀= hipótesis nula

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Hipótesis alternativa: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_1: \mu_o \neq \mu_a$$

H₁= hipótesis alternativa

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Esta probabilidad se determina antes de tomar la muestra o realizar cualquier cálculo. Los niveles de significancia 0,05 y 0,01 son los más aplicados, pero en teoría se puede elegir cualquier valor entre 0 y 1. Para el caso se utilizara el nivel de significancia del 5% =0,05; porque se rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Determinación Estadístico de Prueba.

El estadístico de prueba sigue la distribución F.

Esta distribución F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba en varios casos. Se usa para probar si dos muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales, y también es útil cuando se desean comparar simultáneamente varias medias poblacionales.¹

Regla de Decisión.

Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico F, se lo encuentra en la tabla 89, para usar esta tabla es necesario conocer los grados de libertad de numerador y del denominador. El numero de grados del numerador es igual al número de tratamientos, designado por k, menos 1. El número de grados de libertad del denominador es igual al número total de observaciones, n, menos el número de tratamientos.

K=2 tratamientos

n=6 observaciones

Numerador = $k-1 = 2-1 = 1$

Denominador = $n-k = 6-2 = 4$

¹ <http://www.galeon.com/colposfesz/est501/dca/dca.htm>

Tabla 89. Tabla de valores críticos de la Distribución F (0,05).

Fuente: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf>.

g.d.l	1	2	3
1	161,4	199,5	215,7
2	18,513	19,000	19,164
3	10,128	9,552	9,277
4	7,709	6,944	6,591
5	6,608	5,786	5,409
6	5,987	5,143	4,757
7	5,591	4,737	4,347
8	5,318	4,459	4,066

El valor crítico para esos grados de libertad es de 7,709. Así que la regla de decisión es rechazar H_0 si el valor calculado para F es mayor que 7,709

Selección de la muestra.

Es conveniente resumir los cálculos de la Distribución F en una tabla ANOVA utilizando la varianza de un factor. El formato de la tabla ANOVA es la siguiente.

Tabla 90. Análisis de la Varianza de un factor. Fuente: Los Autores.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	37.5	1	37.5	31.034	7.708647422
Error	4.833333	4	1.20833333		
Total	42.3333333	5			

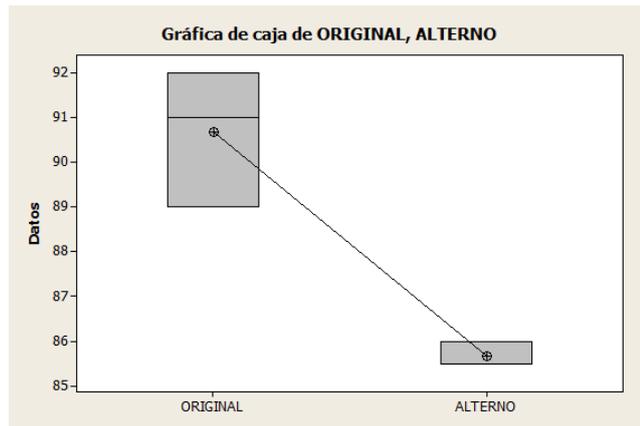


Gráfico 116. De Caja de datos de los discos Original vs Alterno Ensayo Dureza.
Fuente: Los Autores.

En la gráfica 116 de caja de datos dice que no hay igualdad en el disco original con el disco alterno en el ensayo de dureza calentado a 350°C y enfriado al ambiente, porque el valor de F es mayor al valor crítico para F y esta fuera del régimen del valor crítico, también se puede apreciar que las diferencias entre el disco original como el alterno son máximas, tanto en las medias como en la variabilidad (en ambos casos mayor en el original), y parecen significativas, entonces se rechazaría la hipótesis nula para cualquier nivel de significación razonable. De hecho, los intervalos de confianza tienen bastantes valores comunes. Se concluye que si existe diferencias estadísticamente significativas entre los dos disco.

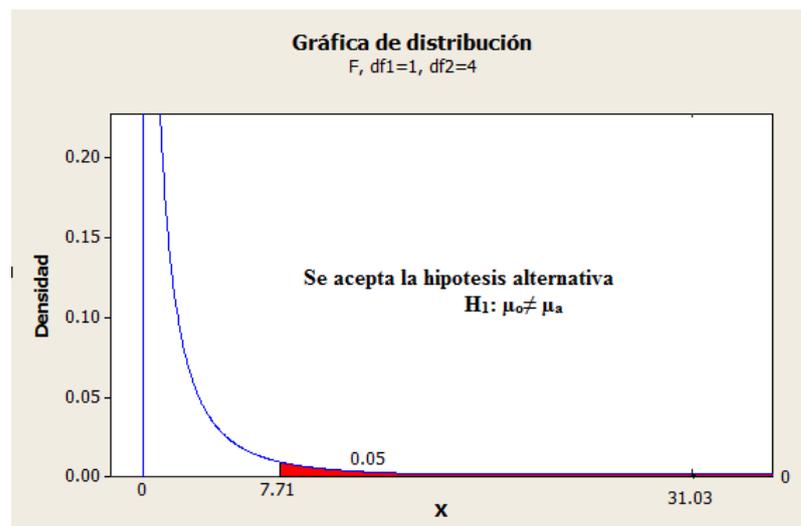


Gráfico 117. Distribución F.
Fuente: Los Autores.

Conclusión: En el gráfico 117 se observa que el valor de $F=31,034$ y es mayor que el valor crítico de 7,71, por lo que se encuentra fuera del régimen del valor crítico y se concluye que se acepta la hipótesis alternativa

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos calentados a 350°C, enfriados en agua”.

5.5 Comparación de parejas medias del tratamiento.

Después que se rechazó la hipótesis nula en un análisis de varianza, es necesario ir al detalle y verificar cuales son los tratamientos diferentes, para esto se utiliza la comparación de parejas de medias del tratamiento, en lo cual nos dice que se tiene que investigar cuales tratamientos resultaron diferentes, o cuales provocan la diferencia, para la verificación de la diferencia se utilizara el siguiente método:

5.5.1 MCB de Hsu (comparaciones múltiples con el mejor).

Nivel de significancia de la familia = 0.05

Valor crítico = 2.13

Intervalos para media de los niveles menos la mayor de las medias de otros niveles.

Tabla 91. MCB de Hsu (comparaciones múltiples con el mejor). Fuente: Los Autores.

Nivel	Inferior	Centro	Superior
ORIGINAL	0.000	5.000	6.913
ALTERNO	-6.913	-5.000	0.000

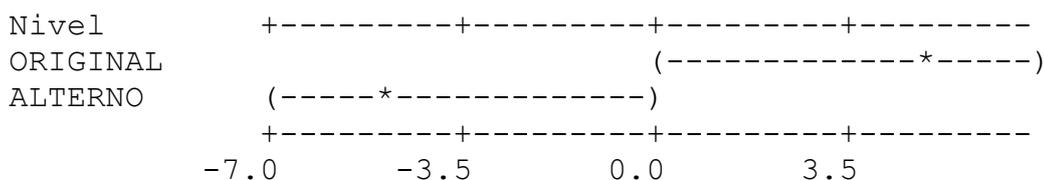


Gráfico 118. MCB de Hsu (comparaciones múltiples con el mejor).

Fuente: Los Autores.

MCB de Hsu (Comparaciones múltiples con el Mejor) compara cada media con la mejor (la más grande) de las otras medias. Se compara las medias del disco original con la media del disco alterno. Se puede observar en la gráfica 109 que el disco original es mejor que el alterno debido que a los intervalos de confianza correspondientes contienen valores positivos. No hay evidencia que indique que el disco alterno es la mejor por las cotas de intervalos superiores son 0.

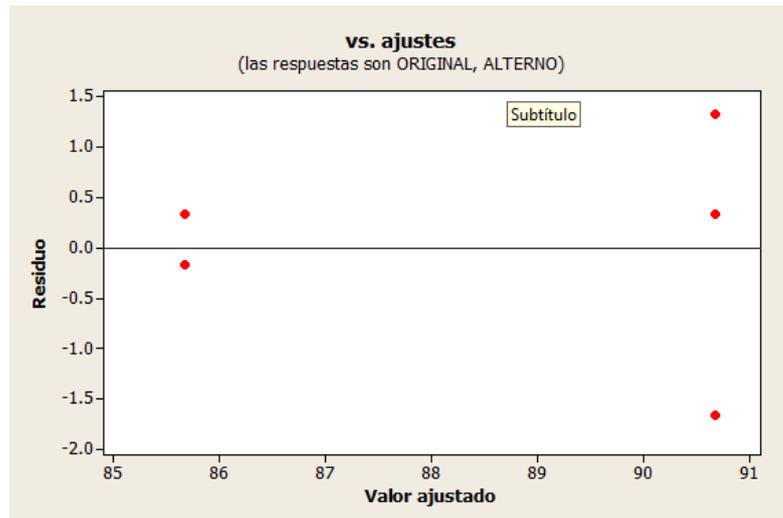


Gráfico 119. Residuos versus valores ajustados. Fuente: Los Autores.

La gráfica 119 muestra un patrón aleatorio de residuos a ambos lados de 0. Si un punto se encuentra lejos de la mayoría de los puntos, puede ser un valor atípico. No deberá haber algún patrón reconocible en la gráfica de residuos.

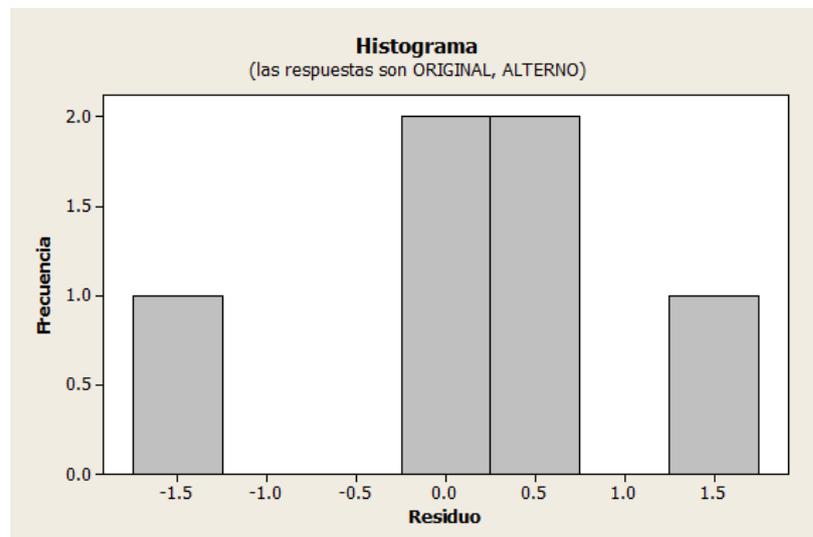


Gráfico 120. Histograma de residuos. Fuente: Los Autores.

La gráfica 120, es una herramienta exploratoria para mostrar las características generales de los residuos incluyendo valores típicos, dispersión y forma. Una larga cola lateral puede indicar una distribución sesgada. Si una o dos barras están lejos de las demás, esos puntos pueden ser valores atípicos.

5.6 Ensayo de dureza de los discos calentados a 350 °C enfriados al ambiente.

Tabla 92. Resultados del ensayo de dureza de los discos calentadas a 350°C y enfriados al ambiente. Fuente: Los Autores.

Original	Alternativo
90,5 HRB	87 HRB
91 HRB	87,5 HRB
88 HRB	86,5 HRB

Para el análisis de varianza primero se necesita los Valores de K y n respectivamente.

K = número de tratamientos (original y alternativo).

n = número total de observaciones (valores de los resultados).

Planteamiento de las Hipótesis.

Hipótesis nula: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alternativo. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_0: \mu_o = \mu_a$$

H_0 = hipótesis nula

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alternativo

Hipótesis alternativa: Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alternativo. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron bruscamente en agua.

$$H_1: \mu_o \neq \mu_a$$

H_1 = hipótesis alternativa

μ_o = se le denomina así al disco original

μ_a = se le denomina así al disco alterno

Nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Esta probabilidad se determina antes de tomar la muestra o realizar cualquier cálculo. Los niveles de significancia 0,05 y 0,01 son los más aplicados, pero en teoría se puede elegir cualquier valor entre 0 y 1. Para el caso se utilizara el nivel de significancia del 5% =0,05; porque se rechaza la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Determinación Estadístico de Prueba.

El estadístico de prueba sigue la distribución F.

Esta distribución F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba en varios casos. Se usa para probar si dos muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales, y también es útil cuando se desean comparar simultáneamente varias medias poblacionales.¹

Regla de Decisión.

Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico F, se lo encuentra en la tabla 93, para usar esta tabla es necesario conocer los grados de libertad de numerador y del denominador. El numero de grados del numerador es igual al número de tratamientos, designado por k, menos 1. El número de grados de libertad del denominador es igual al número total de observaciones, n, menos el número de tratamientos.

K=2 tratamientos

n=6 observaciones

$$\text{Numerador} = k-1 = 2-1 = 1$$

$$\text{Denominador} = n-k = 6-2 = 4$$

¹ <http://www.galeon.com/colposfes/est501/dca/dca.htm>

Tabla 93. Tabla de valores críticos de la Distribución F (0,05).

Fuente: <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf>.

g.d.l	1	2	3
1	161,4	199,5	215,7
2	18,513	19,000	19,164
3	10,128	9,552	9,277
4	7,709	6,944	6,591
5	6,608	5,786	5,409
6	5,987	5,143	4,757
7	5,591	4,737	4,347
8	5,318	4,459	4,066

El valor crítico para esos grados de libertad es de 7,709. Así que la regla de decisión es rechazar H_0 si el valor calculado para F es mayor que 7,709

Selección de la muestra.

Es conveniente resumir los cálculos de la Distribución F en una tabla ANOVA utilizando la varianza de un factor. El formato de la tabla ANOVA es la siguiente.

Tabla 94. Análisis de la Varianza de un factor. Fuente: Los Autores.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamientos	12.04166667	1	12.04166667	8.5	7.708647422
Error	5.666666667	4	1.416666667		
Total	17.70833333	5			

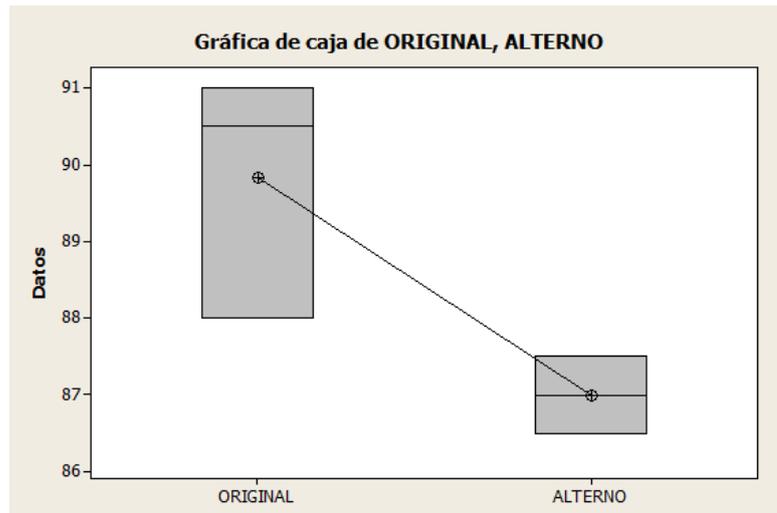


Gráfico 121. De Caja de datos de los discos Original vs Alterno Ensayo Dureza.

Fuente: Los Autores.

En la gráfica 121 de caja de datos dice que no hay igualdad en el disco original con el disco alterno en el ensayo de dureza calentado a 350°C y enfriado al ambiente, porque el valor de F es mayor al valor crítico para F, por lo tanto esta fuera del régimen del valor crítico, también se puede apreciar que las diferencias entre el disco original como el alterno son máximas, tanto en las medias como en la variabilidad (en ambos casos mayor en el original), y parecen significativas, entonces se rechazaría la hipótesis nula para cualquier nivel de significación razonable. De hecho, los intervalos de confianza tienen bastantes valores comunes. Se concluye que si existe diferencias estadísticamente significativas entre los dos disco.

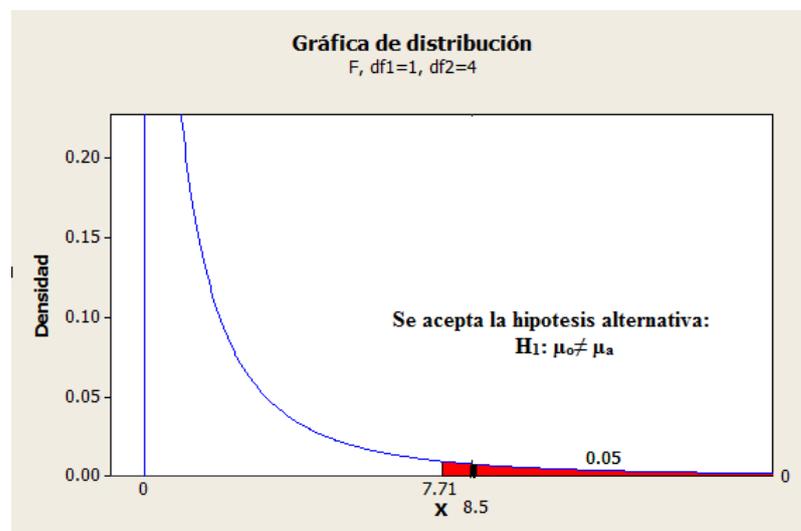


Gráfico 122. Distribución F. Fuente: Los Autores.

Conclusión: En el gráfico 122 se observa que el valor de $F=8,5$ y es mayor que el valor crítico de $7,71$, por lo que se encuentra fuera del régimen del valor crítico y se concluye que se acepta la hipótesis alternativa

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos calentados a $350^{\circ}C$, enfriado al ambiente”.

5.6.1 Comparación de parejas medias del tratamiento.

Después que se rechazó la hipótesis nula en un análisis de varianza, es necesario ir al detalle y verificar cuales son los tratamientos diferentes, para esto se utiliza la comparación de parejas de medias del tratamiento, en lo cual nos dice que se tiene que investigar cuales tratamientos resultaron diferentes, o cuales provocan la diferencia, para la verificación de la diferencia se utilizara el siguiente método:

5.6.1.1 MCB de Hsu (comparaciones múltiples con el mejor)

Nivel de significancia de la familia = 0.05

Valor crítico = 2.13

Intervalos para media de los niveles menos la mayor de las medias de otros niveles.

Tabla 95. MCB de Hsu (comparaciones múltiples con el mejor). Fuente: Los Autores.

Nivel	Inferior	Centro	Superior
ORIGINAL	0.000	2.833	4.905
ALTERNO	-4.905	-2.833	0.000

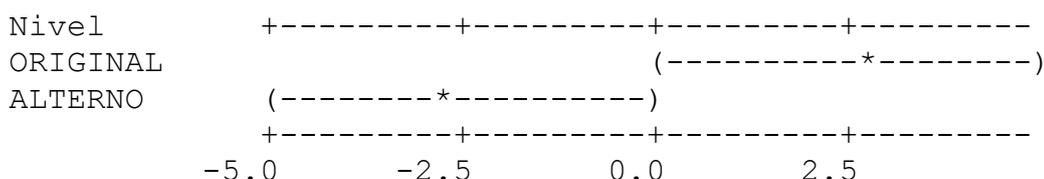


Gráfico 123. MCB de Hsu (comparaciones múltiples con el mejor).

Fuente: Los Autores.

MCB de Hsu (Comparaciones múltiples con el Mejor) compara cada media con la mejor (la más grande) de las otras medias. Se compara las medias del disco original con la media del disco alterno. Se puede observar en la gráfica 124 que el disco original es mejor que el alterno debido que a los intervalos de confianza correspondientes contienen valores positivos. No hay evidencia que indique que el disco alterno es la mejor por las cotas de intervalos superiores son 0.

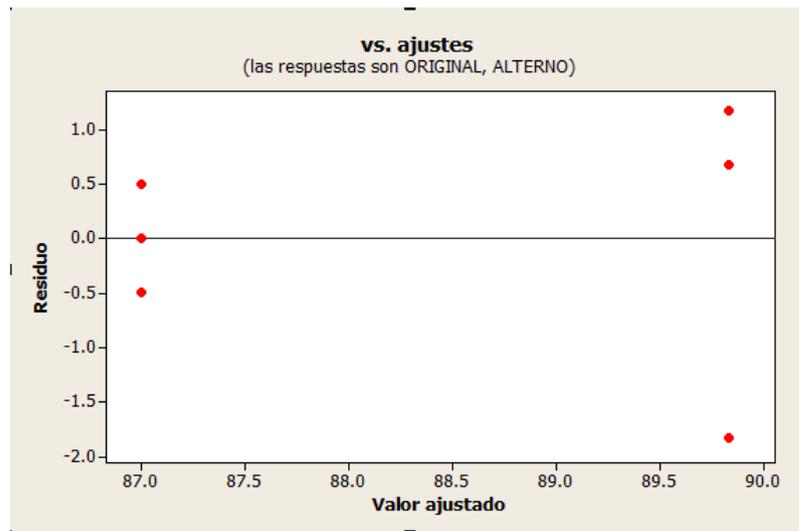


Gráfico 124. Residuos versus valores ajustados. Fuente: Los Autores.

La gráfica 124 muestra un patrón aleatorio de residuos a ambos lados de 0. Si un punto se encuentra lejos de la mayoría de los puntos, puede ser un valor atípico. No deberá haber algún patrón reconocible en la gráfica de residuos.

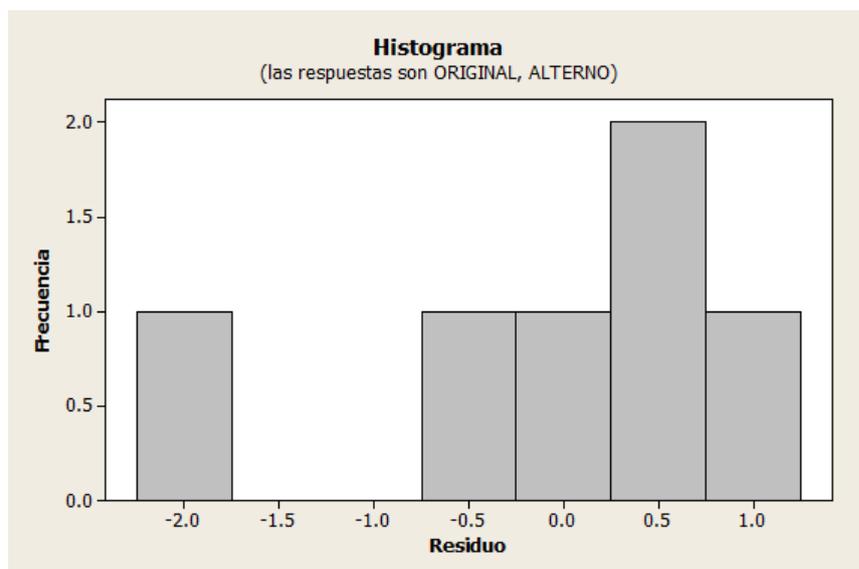


Gráfico 125. Histograma de residuos. Fuente: Los Autores.

La gráfica 125, es una herramienta exploratoria para mostrar las características generales de los residuos incluyendo valores típicos, dispersión y forma. Una larga cola lateral puede indicar una distribución sesgada. Si una o dos barras están lejos de las demás, esos puntos pueden ser valores atípicos.

5.7 Ensayo de Durabilidad.

Según los resultados obtenidos en el numeral 4,9 se aprecia que el disco Original tiene una mayor durabilidad que el disco Alterno, llegando a la conclusión que el disco Original dura 4 veces más que el disco Alterno en las condiciones expuestas.

5.8 Conclusión general de los ensayos.

Concluido el análisis estadístico se concluye que:

- En los ensayos de flexión, impacto y tracción no se puede rechazar la hipótesis nula que nos dice que *“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos se calentaron a 350°C y se enfriaron al ambiente”* por motivo que en esos ensayos no se encontró estadísticamente una diferencia significativa entre el disco original y el disco alterno que rechace la hipótesis nula.
- Mientras que en el ensayo de dureza de los discos calentados a 350°C y enfriados al ambiente y en agua se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que nos dice que: *“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno”* por motivo que en ese ensayo se obtuvo estadísticamente una diferencia significativa entre el disco original y el disco alterno que rechaza la hipótesis nula.

CAPITULO 6

6. Conclusiones.

En este ultimo capitulo se va a indicar las conclusiones obtenidas de los ensayos realizados y del análisis estadístico de los resultados, para ello se va a utilizar los valores de referencia de la norma técnica colombiana NTC 1783 para la comparación.

6.1 Ensayo Metalográfico.

En base a los numerales 4.2, 4.3, 4.4 y 4.10 se concluye que:

Disco Alternativo: Es una fundición gris hipoeutéctica constituida de una matriz ferrítica/perlítica.

Disco Original: Es una fundición gris hipoeutéctica constituida de una matriz netamente perlítica que le da mejores propiedades mecánicas al no tener la presencia de la ferrita.

6.2 Ensayo de Dureza.

6.2.1 Disco Alternativo vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados en agua.

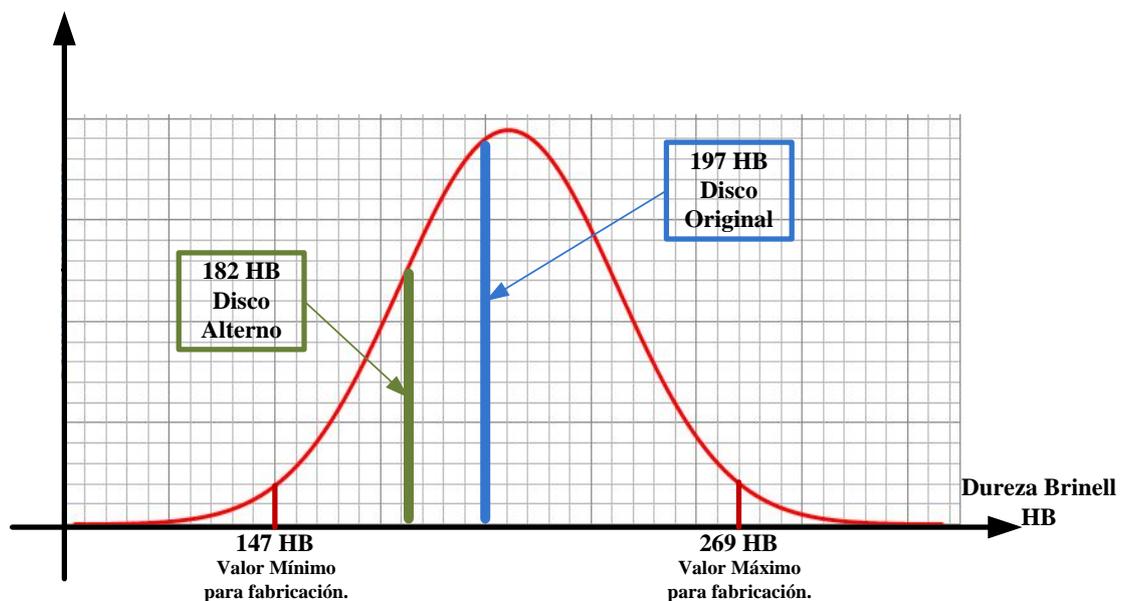


Gráfico 126. Dureza Brinell Disco Alternativo vs. Disco Original. Calentados y enfriados en agua. Fuente: Los Autores.

6.2.2 Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados al ambiente.

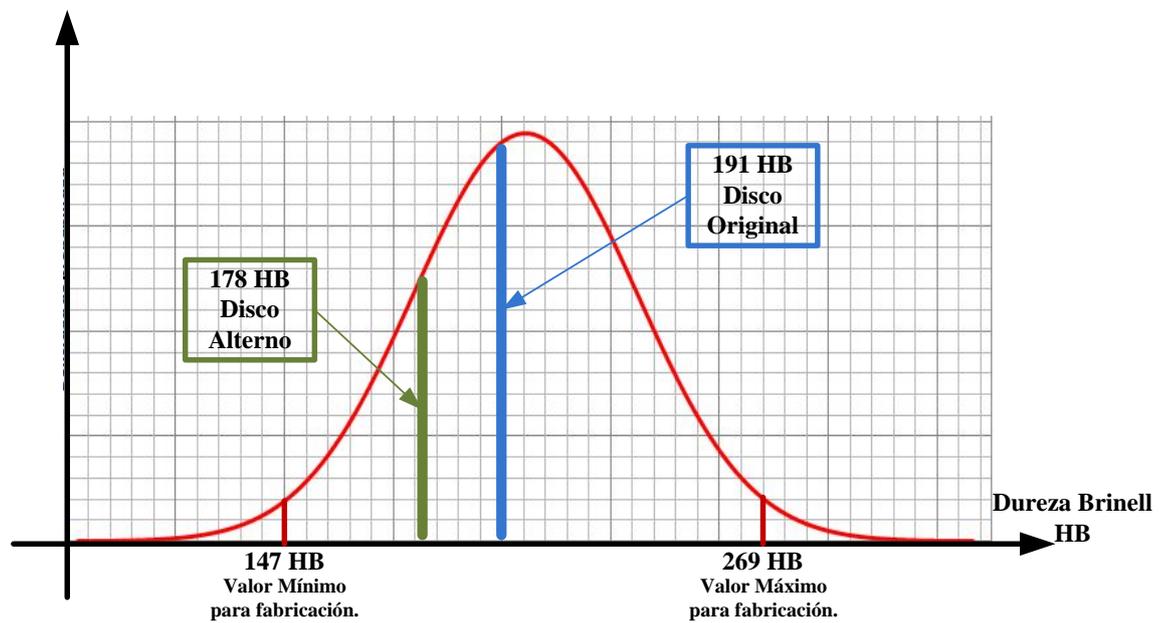


Gráfico 127. Dureza Brinell Disco Alterno vs. Disco Original. Calentados y enfriados al ambiente. Fuente: Los Autores.

Como se observa en los gráficos 126 y 127 la dureza en los discos está dentro del rango de dureza permitido para la fabricación de los mismos, la diferencia está en que el resultado del disco alterno está más apegado al mínimo permitido y el del disco original se mantiene cerca a la mitad del rango, demostrando así mejor calidad de fabricación del disco original.

6.3 Ensayo de Tracción.

6.3.1 Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados en agua.

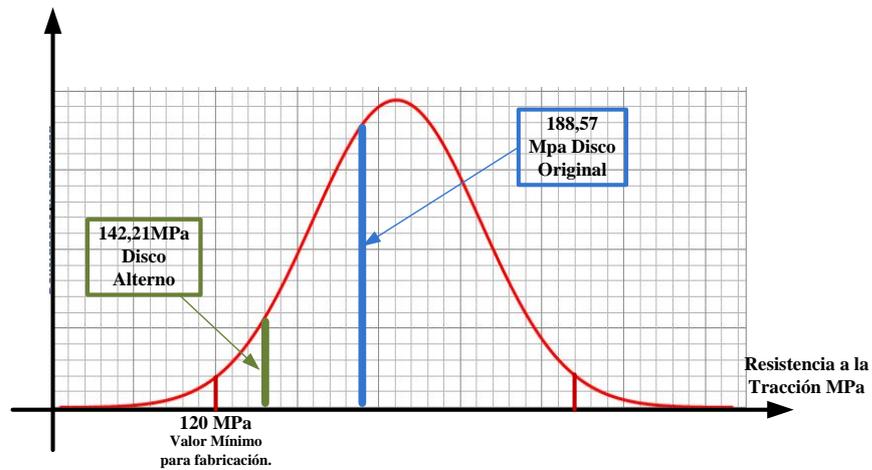


Grafico 128. Ensayo de Tracción Disco Alterno vs. Disco Original. Calentados y enfriados en agua. Fuente: Los Autores.

6.3.2 Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados al ambiente.

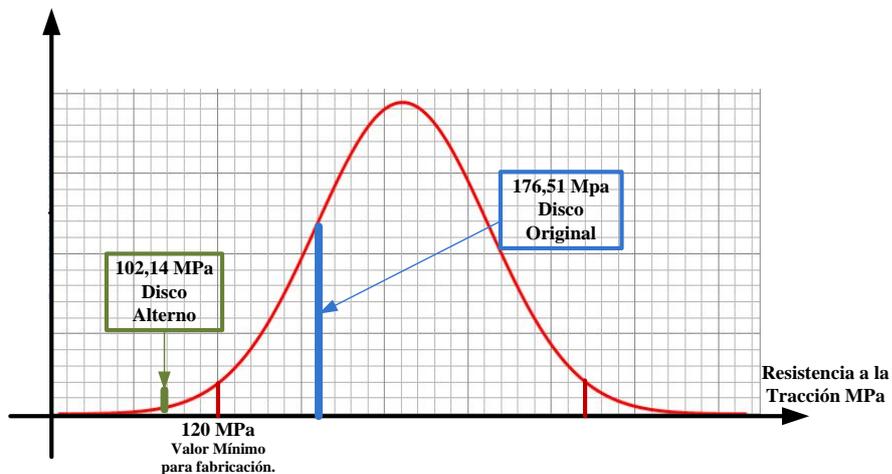


Grafico 129. Ensayo de Tracción Disco Alterno vs. Disco Original. Calentados y enfriados al ambiente. Fuente: Los Autores.

Como se observa en el gráfico 128 la resistencia a la tracción en el disco original es mayor a la del disco alterno, inclusive en el gráfico 129 se observa que el disco alterno se sale del rango por debajo de lo permitido, no cumpliendo con la norma de fabricación. Se sigue manteniendo la mejor calidad de fabricación del disco original.

6.4 Ensayo de Flexión.

6.4.1 Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados en agua.

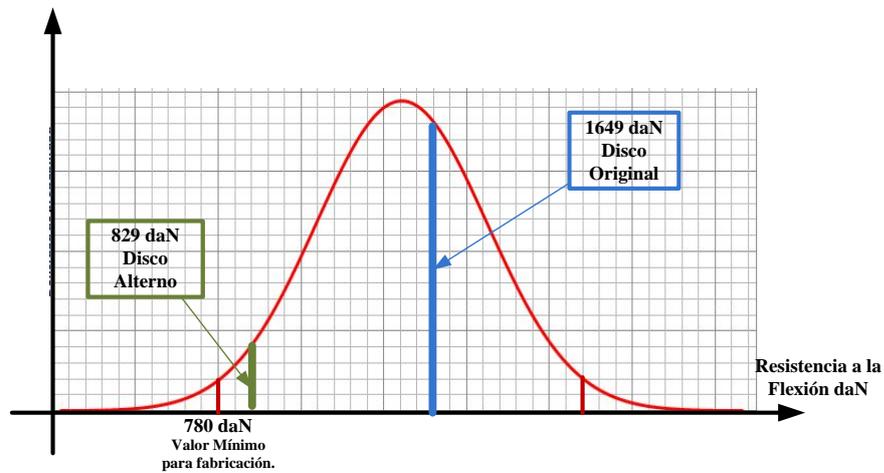


Gráfico 130. Ensayo de Flexión Disco Alterno vs. Disco Original. Calentados y enfriados en agua. Fuente: Los Autores.

6.4.2 Disco Alterno vs. Disco Original calentados a 350°C y enfriados al ambiente.

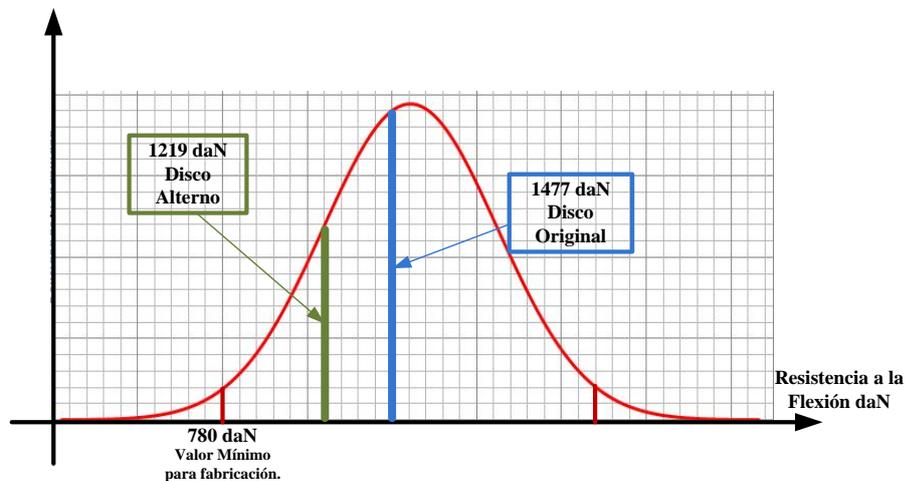


Gráfico 131. Ensayo de Flexión Disco Alterno vs. Disco Original. Calentados y enfriados al ambiente. Fuente: Los Autores.

Como se observa en los gráficos 130 y 131 la resistencia a la flexión del disco original es mayor que la del disco alterno en ambos métodos de enfriamiento. Se sigue manteniendo la mejor calidad de fabricación del disco original.

6.5 Ensayo de Durabilidad.

Para concluir este ensayo se va a tomar como referencia la velocidad de 90km/h ya que en nuestro país es el límite de velocidad para autopistas y carreteras; entonces producimos mayor desgaste de los discos de freno al frenar 90km/h que al frenar 40km/h.

Para efecto de cálculo se toma como límites para cambio de discos de freno mínimo 40.000kms y máximo 175.000kms de recorrido; aclarando que el desgaste del disco de freno depende mucho del material de la pastilla y de la forma de manejo.

Disco Alterno: Según el numeral 4.9 el disco alturno dura 44.280km a 90 km/h.

Disco Original: Según el numeral 4.9 el disco original dura 164.970km a 90 km/h.

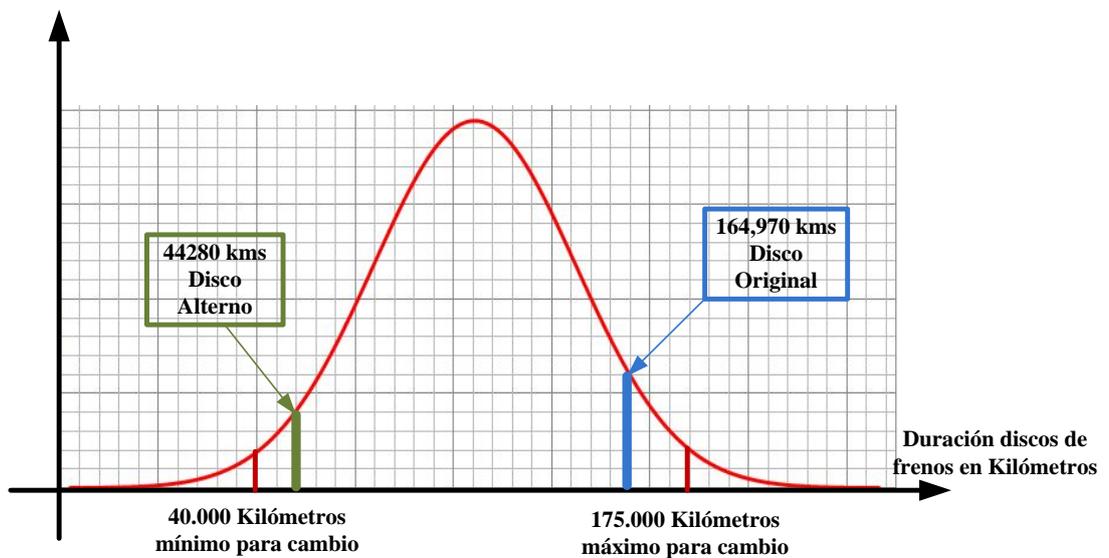


Gráfico 132. Durabilidad del Disco Alterno vs Disco Original a 90km/h.

Como se aprecia en el gráfico 132 el Disco Original tiene mayor durabilidad que el disco Alterno, gracias a su mejor calidad de fabricación confirmando los resultados de los numerales 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4.

6.6 Análisis Estadístico.

En base a los numerales 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 7 5.7 se concluye:

- En los ensayos de tracción, flexión e impacto no hay una diferencia significativa que rechace la hipótesis nula que indica que:

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos calentados a 350°C y enfriados al ambiente y en agua”

- En el ensayo de dureza hay una diferencia significativa entre los resultados obtenidos que acepta la hipótesis alternativa que indica que:

“Las medias de los esfuerzos obtenidos del disco original no son iguales a las medias de los esfuerzos obtenidos del disco alterno. Los discos calentados a 350°C y enfriados al ambiente y en agua”

Confirmando que el Disco Original tiene una mayor dureza que el disco Alterno y por ende mayor durabilidad, ya que estas dos propiedades mecánicas van de la mano, ratificando la conclusión del numeral 6.5.

BIBLIOGRAFIA.

Libros y manuales.

1. JIMENEZ SECO José y GOMEZ COEDO Aurora. *Aplicación de la espectrofotometría de absorción atómica al análisis de productos metalúrgicos*. Primera Edición, CENIM D. L, Madrid. 2001.
2. GUTIÉRREZ PULIDO Humberto y VARA SALAZAR Román de la. *Análisis y diseño de experimentos*. segunda edición, Editorial McGraw Hill Interamericana Editores, México D.F., 2008.
3. AVNER Sydney H., *Introducción a la Metalurgia Física*, Segunda Edición, Edit. McGraw Hill., pp 433-446.
4. HAROLD Angus. *Cast iron: physical and engineering properties*, Second Edition, 1976, p 112.
5. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, *Metallography, Structures and Phase Diagrams*, Edition eight, p275-278.
6. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, *Gray, ductile, and malleable iron castings--current capabilities*, Edited. 3-Dic-2007. pp. 3-28

Páginas Web.

7. VERSA BAR. *Manual Técnico Barras Fundidas: Hierro Gris*, Brasil, 2005. (Recuperado el: 2012-12-05),

Link:<http://www.insumosmetalurgicos.com/metal/rec/img/fichas/MT%20VERSA-BAR%20Espa%C3%B1ol%202005.pdf>
8. INCONTEC, *NTC 1783: Discos para frenos en fundición gris*, Colombia, Editada 2008-05-13, (Recuperado el: 2012-12-10),

Link: <http://es.scribd.com/doc/50099711/NTC1783>
9. Norma ASTM A 247 *Standard Test Method for Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Castings*. (Recuperado el: 2012-12-13)

Link: <http://www.astm.org/Standards/A247.htm>

10. ASTM E 10-1984 Standard *test method for Brinell hardness of metallic materials*, NMX-008-1993. (Recuperado el: 2012-12-13)

Link: <http://www.astm.org/Standards/E10.htm>

11. ASTM E 8M – 04 *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. (Recuperado el: 2012-12-15)

Link: <http://www.astm.org/Standards/E8.htm>

ANEXOS.

Introducción

► HIERRO FUNDIDO: Evolucion de VERSA-BAR

Los hierros gris y nodular son aleaciones de hierro-carbono-silicio. Al hierro fundido se le añade carbono en cantidades que excedan la cantidad de este retenida en la solución sólida austenítica y precipite formando grafito. El grafito puede estar en forma de laminillas (hierro gris) o en nódulos (hierro nodular). Las figuras 1a y 1b muestran la microestructura típica de estos dos tipos de hierro.

La forma y distribución del grafito, así como la estructura de la matriz, afectan directamente las propiedades del hierro fundido. Por este motivo la selección de la clase correcta de VERSA-BAR o de cualquier otro hierro fundido es el primer y más crucial paso para el desarrollo de nuevas aplicaciones. Además de los tipos estándares de hierros fundidos, puede ser necesario contemplar ciertas variaciones añadiéndoles aleaciones o con procesos de tratamiento térmico para ayudar a alcanzar las mejores propiedades metalúrgicas para cada necesidad. El técnico de ventas de VERSA-BAR puede ayudarlo a seleccionar el material más adecuado. Cuantos más productos y aplicaciones conozcamos, más podrá VERSA-BAR responder a sus necesidades.

La evolución constante de la tecnología de fundición del hierro permite desarrollar nuevas aplicaciones para el hierro fundido. Esa evolución se aprecia claramente en la fundición continua, y VERSA-BAR en particular, está al frente de esa evolución. Nosotros estamos perfeccionando constantemente los procesos y técnicas para ofrecer más y mejores alternativas económicas y obtener formatos con mejor calidad y desempeño. VERSA-BAR de colada continua es la tecnología de punta de este tipo de fundición.



Figura 1a – Hierro Gris

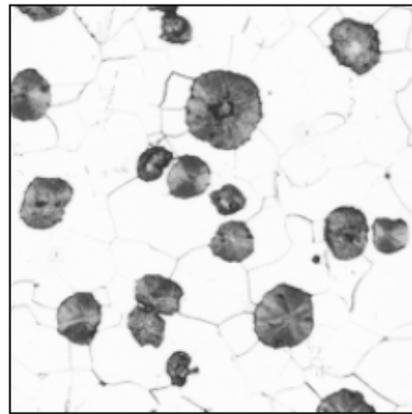


Figura 1b – Hierro Nodular

Introducción

► Aplicaciones más comunes de VERSA-BAR

Cualquier componente que actualmente sea producido en hierro gris, nodular, acero, aluminio o bronce, se puede perfectamente convertir a VERSA-BAR. La Tabla 1 muestra las aplicaciones más comunes en las que se usa VERSA-BAR, o en las que se puede sustituir el hierro fundido y otros materiales.

SEGMEN TO DEL MERCADO	COMPONENTES
Hidráulica y neumática	Manifolds, émbolos, tapas de cilindros, pistones de cilindros, cuerpos de válvulas, rotores. 
Industria del vidrio	Moldes, pines, punzones, cuellos, machos. 
Máquinas y Equipos	Poleas, acoples, rodillos, ejes, reglas guías, bujes, arandelas, tuercas, engranajes, contrapesos. 
Autopartes	Tapas para cojinetes, distanciadores, émbolos para pistón de freno, anillos, guías de válvulas, asientos de válvulas. 
Otros	Protectores para termopar, coquillas, retenedores, placas de válvulas, matrices. 

Tabla 1 – Aplicaciones típicas de VERSA-BAR

Estos ejemplos muestran la versatilidad de VERSA-BAR y sus variadas aplicaciones. Desde simples arandelas y poleas, hasta piezas complejas tales como moldes para la industria del vidrio, así como válvulas y colectores para la industria hidráulica. Las piezas VERSA-BAR sirven para las aplicaciones más diversas y exigentes.

Para ayudarlo a elegir, contactese con nuestro personal de soporte:

► Tupy Fundições Ltda. Teléfono 55 47 4009 8434

► Nuestro correo electrónico: versabar@tupy.com.br

Hierro Gris

► Descripción de clases

Las clases de hierro gris producidas por fundición continua son las siguientes:

- VERSA-BAR FC-200 (ASTM A48 Clase 30) - Hierro gris perlítico/ferrítico
- VERSA-BAR FC-300 (ASTM A48 Clase 40) - Hierro gris perlítico
- VERSA-BAR GMI (Glass Mold Iron) - Hierro gris con grafito refinado

En todas estas clases el grafito está presente en forma de laminillas. Las características del grafito y de la matriz influyen en las siguientes propiedades:

- Maquinado
- Dureza
- Resistencia al desgaste
- Límite de resistencia a la tracción
- Acabado superficial y otros

La especificación del hierro gris más común contiene grafito forma VII, tipo A, tamaño 3 - 6, según la norma ASTM A247. En la clase FC-200 el grafito está distribuido en una matriz perlítica/ferrítica. Este material puede utilizarse mejor en la fabricación de piezas que exigen fuerza mediana, buena absorción de vibraciones, buena conductividad térmica y mejor mecanizado.

La clase FC-300 presenta la misma distribución de grafito, pero en matriz esencialmente perlítica, que aporta mejores propiedades mecánicas y mejor respuesta al tratamiento térmico.

En la clase GMI (moldes para vidriería) el grafito es esencialmente tipo D, tamaño 6 - 8 en matriz ferrítica/perlítica.

► Aplicaciones típicas de VERSA-BAR en hierro gris

► VERSA-BAR FC-200



VERSA-BAR FC-200 – Tiene como principal característica una excelente maquinabilidad, permitiendo más velocidad de corte y reducción del desgaste prematuro de las herramientas. Es apropiado para aplicaciones que exijan propiedades mecánicas medias, tales como bujes, poleas, anillos, garruchas, coquillas, bridas, tapones, estructuras de máquina, cojinetes, acoples, etc.

► VERSA-BAR FC-300



VERSA-BAR FC-300 – por sus mayores propiedades mecánicas, presenta buen acabado superficial y buena estanqueidad. Resulta muy adecuado también para aplicaciones sujetas al desgaste, tales como pistones, válvulas hidráulicas, moldes, coquillas, acoples, espaciadores, etc.

► VERSA-BAR GMI



VERSA-BAR GMI – tiene como principal característica un excelente acabado superficial, buena maquinabilidad y excelente conductividad térmica. Adecuado para la fabricación de piezas para la industria del vidrio, tales como moldes, pines y cuellos, etc.

Hierro Gris

▶ VERSA-BAR FC-200 - Hierro gris perlítico/ferrítico

▶ Descripción

VERSA-BAR FC-200 es un hierro gris cuya característica principal es su excelente maquinabilidad, esto aumenta la velocidad de corte y reduce el desgaste prematuro de las herramientas. Esta especificación es similar a la ASTM A48 Clase 30.

▶ Microestructura

La microestructura típica de VERSA-BAR FC-200 presenta grafito en forma laminar, forma VII, tipo A, tamaño 3 - 6 según la norma ASTM A247. La matriz es predominantemente perlítica con un 5% a 20% de ferrita. La periferia está compuesta de grafito tipo D, tamaño 6 - 8 y matriz esencialmente ferrítica con un 5% máximo de carburos dispersos. (Figuras 6 y 7).



Figura 6 - Microestructura típica en el núcleo (VERSA-BAR FC-200)

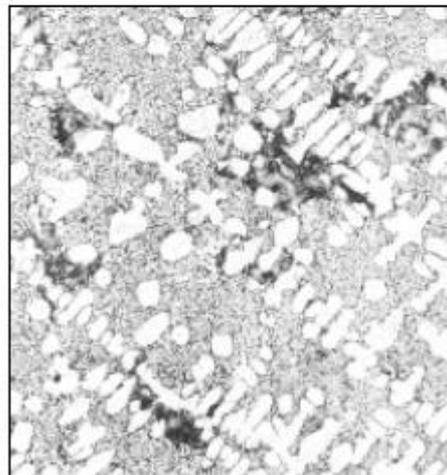


Figura 7 - Microestructura típica en la periferia (VERSA-BAR FC-200)

► **Propiedades mecánicas**

Los valores mínimos de dureza y límite de resistencia a la tracción de VERSA-BAR FC-200 se especifican en la Tabla 2 y se refieren a resultados encontrados en muestras de pruebas tomadas de la sección radial media de la barra.

Dimensión		Dureza	Fuerza de elasticidad (mín.)	
(pulgada)	(mm)		(Psi)	(MPa)
hasta - 1.000	hasta - 25.4	163 - 229	30,000	207
1.001 - 1.750	25.4 - 44.4	163 - 229	28,500	197
1.751 - 2.500	44.4 - 63.5	163 - 229	27,000	186
2.501 - 3.125	63.5 - 79.4	163 - 229	25,500	176
3.126 - 3.625	79.4 - 92.0	163 - 229	24,000	166
3.626 - 4.375	92.1 - 111.1	163 - 229	22,500	155
4.376 - 5.000	111.1 - 127.0	163 - 229	21,000	145
5.001 - 5.750	127.0 - 146.0	163 - 229	19,500	135
5.751 - 10.000	146.0 - 254.0	163 - 229	18,000	124

Tabla 2 - Dureza y Límite de resistencia a la tracción de VERSA-BAR FC-200

El límite de resistencia a la tracción varía según el espesor de la sección y el diámetro de la barra (Figura 8).

Cuanto más grande sea el diámetro de la barra, menor será su límite de resistencia a la tracción debido a las diferentes velocidades de solidificación y enfriamiento. El límite de resistencia a la tracción de una barra de 1 pulgada de diámetro corresponde a 30.000 psi (especificación mínima).

Los resultados típicos se muestran en las Figuras 8, 9 y 10. Los resultados en diferentes secciones de la barra se muestran en las Figuras 9 y 10:



Figura 8 - Límite de resistencia a la tracción de VERSA-BAR FC-200 (resultados típicos y especificaciones mínimas)

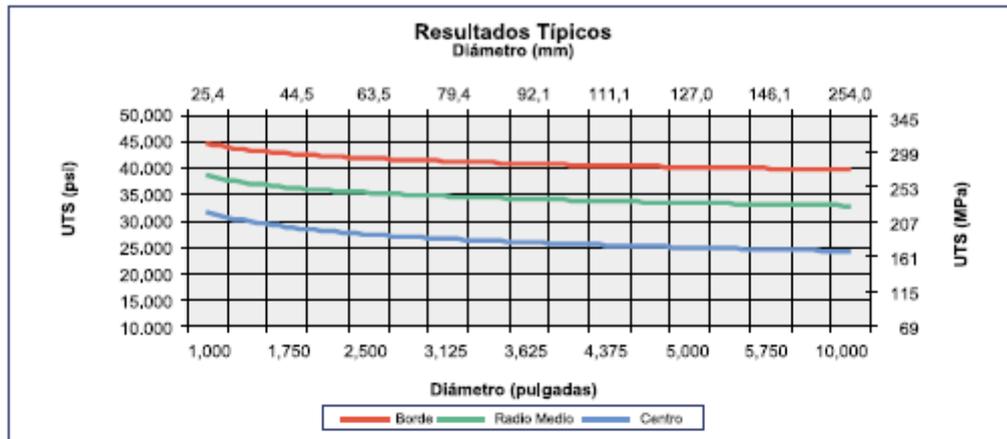


Figura 9 – Limite de resistencia a la tracción en diferentes puntos de la sección de VERSA-BAR FC-200 (resultados típicos)



Figura 10 – Dureza de VERSA-BAR FC-200 (resultados típicos y especificaciones mínimas)

► Composición química

La composición química general para VERSA-BAR FC-200, se muestra en la Tabla 3, las propiedades mecánicas dependen de la composición química. El análisis químico se refiere a muestras tomadas del horno de fusión y podrán variar ligeramente cuando son comparadas con la composición química de la pieza.

Hierro Gris

Elemento	%
C ¹	2.0 - 3.70
Si	2.30 - 2.70
Mn	0.40 - 0.80
S	0.20 máx.
P	0.10 máx.

Tabla 3 – Composición Química de VERSA-BAR FC-200

Nota 1: Los rangos del carbono son especificados a cada grupo de medidas para controlar el tipo y tamaño de las laminas de grafito. La variación dentro del mismo es de aproximadamente un 0,20%.

► Tratamiento térmico

VERSA-BAR FC-200 puede tratarse en aceite para aumentar la dureza en la periferia, aumentando así la resistencia al desgaste. Otro tratamiento térmico usual es el recocido, usado para reducir la dureza, y mejorar el mecanizado. Para tratamientos térmicos específicos, póngase en contacto con nuestro equipo de soporte técnico.

► VERSA-BAR FC-300 – Hierro gris perlítico

► Descripción

VERSA-BAR FC-300 es un hierro gris con estructura totalmente perlítica que le brinda propiedades mecánicas superiores, buen acabado superficial y buena capacidad de endurecimiento. Otra característica importante que conviene señalar es su buena estanqueidad. Esto da buenos resultados en aplicaciones que trabajan a presión tales como componentes hidráulicos. Esta especificación es similar a la ASTM A48 Clase 40.

► Microestructura

La microestructura típica de VERSA-BAR FC-300 presenta grafito en forma laminar, forma VII, tipo A, tamaño 3 – 6 según la norma ASTM A247. La matriz es predominantemente perlítica, con un 10% máximo de ferrita. La periferia presenta grafito tipo D, tamaño 6 - 8 en matriz ferrítica/perlítica con aproximadamente un 5% de carburos dispersos. (Figuras 11 y 12).

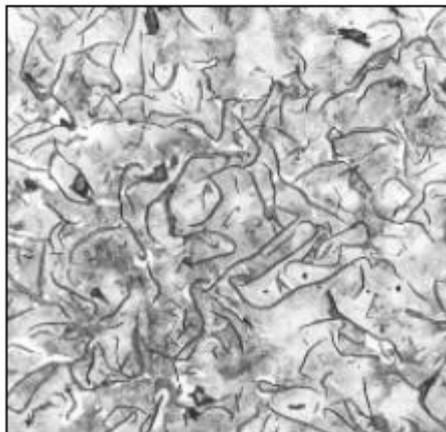


Figura 11 – Microestructura típica en el núcleo (VERSA-BAR FC-300)

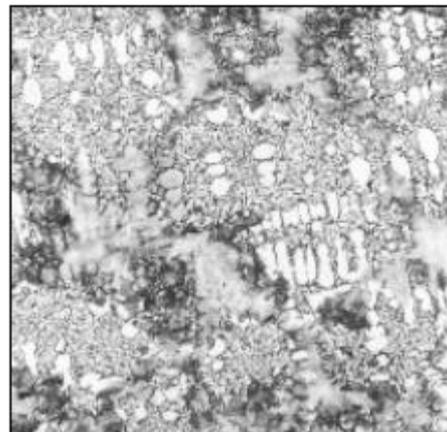


Figura 12 – Microestructura típica en la periferia (VERSA-BAR FC-300)

► Propiedades Mecánicas

Los valores mínimos de dureza y límite de resistencia a la tracción de VERSA-BAR FC-300 son especificados en la Tabla 4 y se refieren a resultados encontrados en muestras de pruebas tomadas de la sección radial media de la barra.

Dimensión		Dureza	UTS (mín.)	
(pulgada)	(mm)		(Psi)	(MPa)
hasta - 1.000	hasta - 25.4	197 - 285	40,000	276
1.001 - 2.000	25.4 - 50.8	197 - 269	37,000	255
2.001 - 3.125	50.8 - 79.4	197 - 269	35,500	245
3.126 - 4.125	79.4 - 104.7	197 - 269	34,000	235
4.126 - 6.250	104.8 - 158.7	197 - 269	30,000	207
6.251 - 10.250	158.7 - 260.3	179 - 255	27,000	186
10.251 - 13.500	260.3 - 345.0	179 - 255	25,500	176
13.501 - 21.000	342.9 - 533.4	179 - 255	24,000	166

Tabla 4 – Dureza y Límite de resistencia a la tracción de VERSA-BAR FC-200

El límite de resistencia a la tracción varía según el espesor de la sección y el diámetro de la barra (Figura 13).

Cuanto más grande sea el diámetro de la barra, menor será su límite de resistencia a la tracción debido a las diferentes velocidades de solidificación y enfriamiento. La resistencia a la tracción de una barra de 1 pulgada de diámetro corresponde a 40.000 psi (especificación mínima).

Los resultados típicos se muestran en las Figuras 13, 14 y 15. Los resultados en diferentes secciones de la barra se muestran en las Figuras 14 y 15:

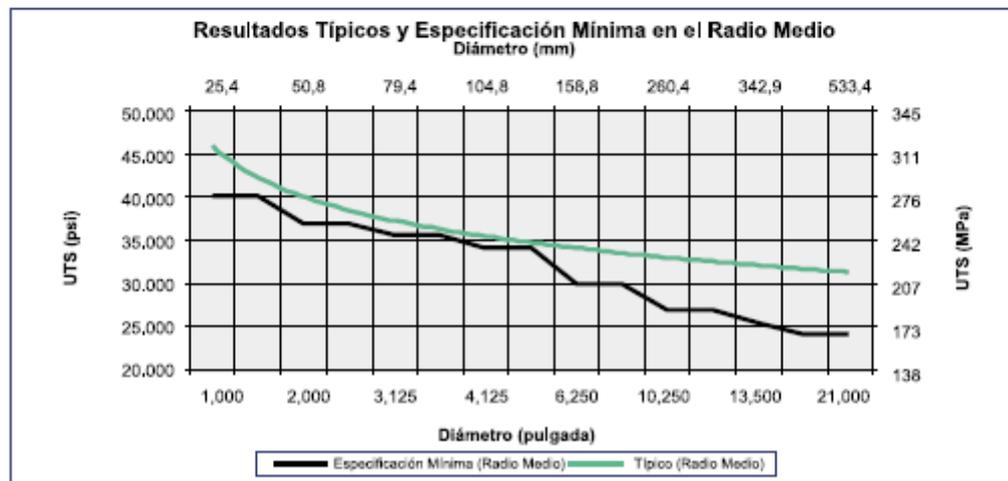


Figura 13 – Límite de resistencia a la tracción de VERSA-BAR FC-300 (resultados típicos y especificaciones mínimas)

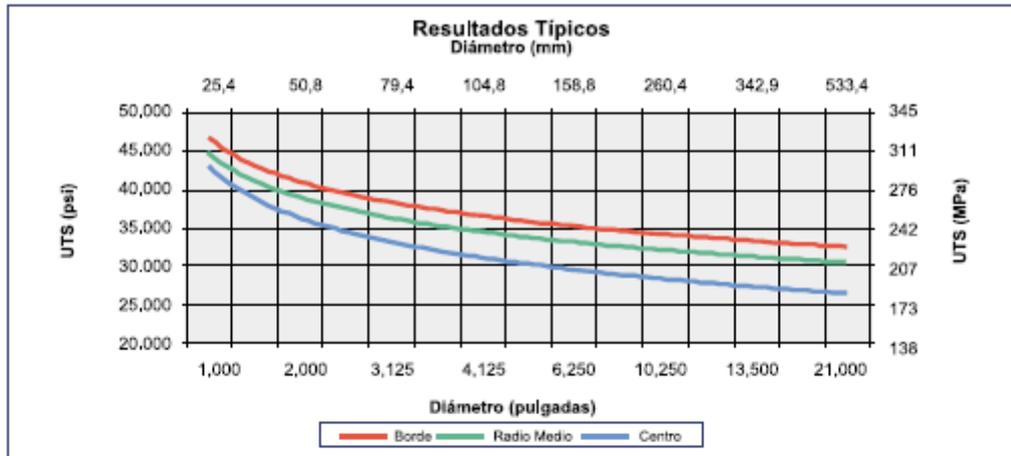


Figura 14 – Límite de resistencia a la tracción en diferentes puntos de la sección de VERSA-BAR FC-300 (resultados típicos)

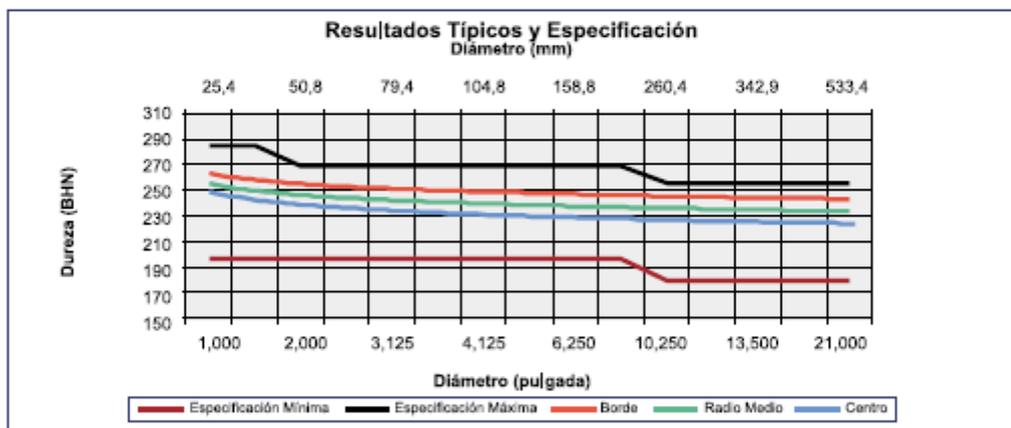


Figura 15 – Dureza de VERSA-BAR FC-300 (resultados típicos y especificaciones mínimas)

Composición química

La composición química general para VERSA-BAR FC-300, se muestra en la Tabla 5, las propiedades mecánicas dependen de la composición química. El análisis químico se refiere a muestras tomadas del horno de fusión y podrán variar ligeramente cuando son comparadas con la composición química de la pieza.

Elemento	%
C	2.80 - 3.70
Si	2.30 - 2.70
Mn	0.40 - 0.80
S	0.20 máx.
P	0.10 máx.

Tabla 5 – Composición Química de VERSA-BAR FC-300

Nota 1: Los rangos del Carbono son especificados a cada grupo de medidas para controlar el tipo y tamaño de las láminas de grafito. La variación dentro del mismo es de aproximadamente un 0,20%.

**NORMA TÉCNICA
COLOMBIANA**

**NTC
1783**

2008-04-30

**AUTOMOTORES.
DISCOS PARA FRENOS EN FUNDICIÓN GRIS**



E: ROAD VEHICLES. GRAY IRON CASTING BRAKE DISCS.

CORRESPONDENCIA:

DESCRIPTORES: disco de freno; freno de disco; freno;
sistema de frenado.

I.C.S.: 43.040.40

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. (571) 6078888 - Fax (571) 2221435

Prohibida su reproducción

Primera actualización
Editada 2008-05-13

CONTENIDO

	Página
1. OBJETO	1
2 REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN	2
3.1 DEFINICIONES.....	2
3.2 CLASIFICACIÓN	3
4. CONDICIONES GENERALES	4
4.1 DIMENSIONES	4
4.2 ACABADO.....	4
5. REQUISITOS.....	4
5.1 CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE CALIDAD.....	4
5.2 REQUISITOS FUNCIONALES DE CALIDAD.....	4
6. ENSAYOS.....	7
6.1 ANÁLISIS QUÍMICO.....	7
6.2 MICROESTRUCTURA	7
6.3 DUREZA	7
6.4 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	7
6.5 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	7
6.6 ACABADO SUPERFICIAL DEL ÁREA DE FRENADO.....	8
6.7 ALABEO (RUN - OUT).....	8

	Página
6.8 PARALELISMO ENTRE CARAS	8
6.9 DESBALANCEO	8
6.10 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS	8
7. TOMA DE MUESTRAS Y RECEPCIÓN DEL PRODUCTO.....	8
7.1 TOMA DE MUESTRAS	8
7.2 ACEPTACIÓN O RECHAZO.....	8
8. EMPAQUE Y ROTULADO	9
TABLA	
Tabla 1. Composición química.....	5
FIGURAS	
Figura 1. Disco macizo para freno	3
Figura 2. Disco ventilado para freno.....	3
ANEXOS	
ANEXO A (Informativo)	
BIBLIOGRAFÍA.....	10

AUTOMOTORES. DISCOS PARA FRENOS EN FUNDICIÓN GRIS

1. OBJETO

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse los discos de fundición gris, empleados en los sistemas de frenos para vehículos de carretera.

NOTA 1 Esta norma puede no incluir algunos discos para frenos utilizados en vehículos y/o equipos agrícolas, máquinas para el movimiento de tierra, montacargas, máquinas o equipos móviles como taladros o equipos de bombeo, entre otros.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos referenciados son indispensables para la aplicación de esta norma. Para referencias fechadas, se aplica únicamente la edición citada. Para referencias no fechadas, se aplica la última edición del documento referenciado (incluida cualquier corrección).

NTC 3, Ensayo de dureza *Brinell* para, productos metálicos.

NTC 23, Determinación gravimétrica del carbono por combustión directa, en aceros al carbono.

NTC 24, Determinación del manganeso en aceros al carbono. Método del persulfato.

NTC 25, Determinación del manganeso en aceros al carbono. Método del bismutato.

NTC 26, Determinación del silicio en aceros al carbono. Método del ácido perclórico.

NTC 27, Determinación de azufre en aceros al carbono. Método de evolución.

NTC 28, Determinación del silicio en aceros al carbono. Método de ácido sulfúrico.

NTC 29, Aceros al carbono. Método del persulfato para la determinación del cromo.

NTC 180, Método gasométrico para determinación del carbono por combustión directa en hierros y aceros al carbono.

NTC 181, Acero al carbono y fundición de hierro. Método alcalimétrico para determinación de fósforo.

NTC 1370, Fundición de hierro gris. Clasificación.

NTC 1526, Automotores. Requisitos de comportamiento del sistema de frenos.

NTC 1620, Metalurgia. Fundiciones de hierro. Designación de la microestructura del grafito.

NTC 4190, Vehículos de carretera. Frenado de vehículos de carretera y de sus remolques. Vocabulario (ISO 611).

GTC 99, Guía para la selección de un plan, un esquema o un sistema de muestreo para aceptación en la inspección de elementos individuales en lotes.

NTC-ISO 2859-0, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 0. Introducción a la serie NTC-ISO 2859. Sistema de muestreo por atributos

NTC-ISO 2859-1, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1: Planes de muestreo determinados por el Nivel Aceptable de Calidad (NAC) para inspección lote a lote.

NTC-ISO 2859-2, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 2. Planes de muestreo determinados para la Calidad Limite (CL) para la inspección de un lote aislado.

NTC-ISO 2859-3, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 3. Procedimientos de muestreo intermitentes.

NTC-ISO 2859-4, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 4: Procedimientos de evaluación de los niveles de calidad declarados.

NTC-ISO 3951-1, Procedimientos de muestreo y gráficos de inspección por variables para porcentaje no conforme.

3. DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN

3.1 DEFINICIONES

Para efectos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1.1 Disco para freno. Pieza circular delgada de caras paralelas contra la cual las pastillas de freno ejercen la presión para detener el vehículo. Véase la NTC 4190.

3.1.2 Área de frenado. Superficie del disco sobre la cual las pastillas ejercen la presión de frenado.

3.1.3 Alabeo (*Run - Out*). Falta de paralelismo entre la cara de apoyo y las caras del disco.

3.1.4 Balanceo. Estado de equilibrio y compensación entre los pesos de lados opuestos.

3.1.5 Colada. Producto que se obtiene en cada operación de vaciado de un horno para la elaboración de la fundición de hierro.

3.1.6 Lote. Estará conformado por el número de discos para freno de cada colada, producidos bajo condiciones similares.

3.1.7 Probeta. El fabricante deberá estar en capacidad de suministrar simultáneamente con los discos para freno, cuatro probetas para cada colada, del tamaño indicado en el numeral 6.1.2 de la NTC 1370.

3.2 CLASIFICACIÓN

Según su forma, los discos para freno se dividen en:

3.2.1 Disco para freno macizo (véase la Figura 1).

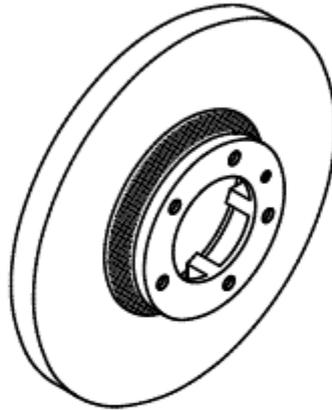


Figura 1. Disco macizo para freno

3.2.2 Disco para freno ventilado (véase la Figura 2).

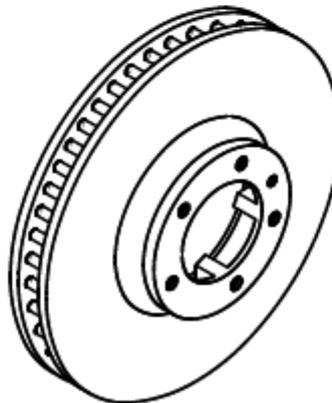


Figura 2. Disco ventilado para freno

4. CONDICIONES GENERALES

4.1 DIMENSIONES

La forma, dimensiones y tolerancias del disco para freno deben cumplir con lo especificado en el plano correspondiente como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2.

4.2 ACABADO

El área de frenado debe estar libre de defectos tales como poros, microrrechupes, inclusiones de arena, grietas o cualquier otro que pueda afectar su buen funcionamiento. Las imperfecciones pueden ser convenidas de acuerdo a convenio cliente proveedor.

NOTA 2 La presencia, distribución y tipo de porosidades permitidas deberá ser establecida únicamente de acuerdo a lo establecido mediante acuerdo cliente proveedor, siguiendo lo establecido en los numerales 5.1.1 y 5.1.2.

5. REQUISITOS

5.1 CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE CALIDAD

Los requisitos de calidad para los discos para frenos, son enfocados en la funcionalidad de los mismos y prevalecen de acuerdo al siguiente orden de importancia:

5.1.1 En primera instancia prevalecen los requisitos convenidos mediante acuerdo entre cliente y el proveedor. Normalmente estos requisitos están contenidos en los planos de la pieza a fabricar o en el cuaderno de carga.

EJEMPLO 1 La empresa ensambladora de vehículos suministra los requisitos funcionales del disco para frenos al fabricante respectivo.

5.1.2 En segunda instancia prevalecen los requisitos determinados por el diseñador del sistema de frenos.

EJEMPLO 2 El diseñador del disco para frenos, que no siempre es la ensambladora de vehículos, determina los requisitos funcionales de esta pieza a fabricar.

5.1.3 De no existir los anteriores requisitos, se deben considerar los establecidos en el numeral 5.2.

NOTA 3 Se deben cumplir los requisitos presentados en esta norma si no existen valoraciones distintas para los mismos, que estén contempladas según lo descrito en el numeral 5.1.1 y 5.1.2, es decir basados en información proveniente del fabricante del vehículo o del diseñador del sistema de frenos.

5.2 REQUISITOS FUNCIONALES DE CALIDAD

5.2.1 Requisitos generales

5.2.1.1 Composición química

Para obtener los requisitos funcionales descritos a partir del numeral 5.2, los discos para frenos deben disponer de una composición química básica para la aleación de fundición gris, la cual se presenta a continuación. Por esta razón se considera a esta composición como requisito normativo que permita alcanzar los demás requisitos orientados al uso.

La composición química debe ser la indicada en la Tabla 1, cuando se realice el ensayo descrito en el numeral 6.1. Para composiciones distintas a las mencionadas, éstas deberán ser avaladas por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2.

Tabla 1. Composición química

Elemento	Contenido (%)
Carbono total	3,00 a 3,70
Silicio	1,30 a 2,80
Manganeso	0,9 máximo
Fósforo	0,20 % máximo
Azufre	0,15 % máximo

NOTA 4 Se pueden contemplar aleantes adicionales como cromo, molibdeno, cobre u otros. Su contenido en la aleación deberá estar determinado de acuerdo al convenio cliente proveedor como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2.

5.2.1.2 Microestructura

5.2.1.2.1 Grafito

En el área de frenado se debe presentar grafito laminar en proporción del 80 % Tipo A, como mínimo, y el porcentaje restante distribuido en los Tipos B, D y E; no se admite el Tipo C, cuando se realice el ensayo descrito en el numeral 6.2.1. Para disposiciones distintas en la microestructura metalográfica del grafito, éstas deberán ser avaladas por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2.

5.2.1.2.2 Matriz

La matriz deberá estar constituida de perlita laminar, admitiéndose hasta 5 % de carburos uniformemente distribuidos. El contenido de ferrita no debe exceder de 15 %, cuando se realice el ensayo descrito en el numeral 6.2.2. Para disposiciones distintas en la microestructura metalográfica de la matriz éstas deberán ser avaladas por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2. Se recomienda revisar la NTC 1620.

5.2.1.3 Dureza

La dureza debe tener un valor comprendido entre 147 Brinell y 269 Brinell, cuando se realice el ensayo descrito en el numeral 6.3. Para valores de dureza diferentes, éstos deberán ser avalados por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2.

5.2.1.4 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción debe ser mínima de 120 MPa, cuando se realice el ensayo descrito en el numeral 6.4. Para valores de resistencia a la tracción diferentes, éstos deberán ser avalados por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2.

5.2.1.5 Resistencia a la flexión

Al realizar el ensayo descrito en el numeral 6.5 la probeta no deberá fracturarse al imprimir una fuerza transversal de 780 daN y la deflexión mínima en el momento de la rotura deberá ser de 3,6 mm. Para valores diferentes de la fuerza aplicada a la mencionada, valores de la deflexión, o un ensayo equivalente diferente al descrito en el numeral 6.5, éste requisito deberá ser avalado por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2.

5.2.2 Requisitos específicos

5.2.2.1 Acabado superficial del área de frenado

El acabado superficial del área de frenado (tomeado u otro proceso de maquinado o rectificado adecuado) debe ser tal que su desviación promedio aritmética no exceda de 6,3 μm , cuando se realice el ensayo indicado en el literal 6.6. Para valores o condiciones diferentes en el acabado del área de frenado en los discos para frenos, o diferencias en el método o escalas de medición y evaluación, éstos deberán ser avalados por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2 del texto central de este documento.

5.2.2.2 Alabeo (*Run - Out*)

El alabeo máximo deberá ser de 0,1 mm en discos de frenos para automóviles, camperos y camionetas, y de 0,15 para camiones, cuando se realice el ensayo indicado en el literal 6.7. Para valores o condiciones diferentes de alabeo en los discos para frenos, o diferencias en el método de evaluación, éstos deberán ser avalados por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2 del texto central de este documento.

5.2.2.3 Paralelismo entre caras

El paralelismo entre caras se determina buscando la diferencia de paralelismo, la cual no deberá ser mayor de 0,05 mm, cuando se realice el ensayo indicado en el literal 6.8. Para valores o condiciones diferentes de diferencia en el paralelismo entre caras del disco para frenos, o diferencias en el método de evaluación, éstos deberán ser avalados por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2 del texto central de este documento.

5.2.2.4 Desbalanceo

El desbalanceo no deberá ser mayor a $120 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$ para discos de frenos de automóviles; y $353 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$ para discos de frenos de camperos y camionetas, cuando se realice el ensayo indicado en el literal 6.9. Para valores o condiciones diferentes de desbalanceo del disco para frenos, o diferencias en el método de evaluación, éstos deberán ser avalados por el dueño del diseño del sistema de frenos como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2 del texto central de este documento.

5.2.2.5 Comportamiento en el sistema de frenos

Los discos para freno como componente del sistema de frenos deberán cumplir con el requisito establecido en el numeral 4.7.2 de la NTC 1526, cuando se realice el ensayo indicado en el literal 6.10. El comportamiento puede incluir también requisitos consignados mediante acuerdo cliente proveedor como se indica en los numerales 5.1.1 y 5.1.2 del texto central de este documento.

6. ENSAYOS

6.1 ANÁLISIS QUÍMICO

La composición química del material se podrá verificar con la ayuda de equipos de espectrofotometría por emisión o de acuerdo a los siguientes métodos:

6.1.1 Determinación del carbono. Se realiza de acuerdo con la NTC 23 ó NTC 180.

6.1.2 Determinación del manganeso. Se realiza de acuerdo con la NTC 24 ó NTC 25

6.1.3 Determinación del fósforo. Se realiza de acuerdo con la NTC 181.

6.1.4 Determinación del azufre. Se realiza de acuerdo con la NTC 27.

6.1.5 Determinación del silicio. Se realiza de acuerdo con la NTC 26 ó NTC 28.

6.1.6 Determinación del cromo. Se realiza de acuerdo con la NTC 29.

6.2 MICROESTRUCTURA

6.2.1 Grafito

La evaluación de la microestructura del grafito se debe hacer de acuerdo con lo indicado en la NTC 1620.

6.2.2 Matriz

Después del ensayo indicado en el numeral 6.4.1 se ataca la probeta con nital 3 (ácido nítrico y alcohol al 3 %) y se examina la matriz con una amplificación de 500X.

6.3 DUREZA

Se realiza de acuerdo con la NTC 3.

6.4 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Se realiza de acuerdo a lo indicado en la NTC 1370, empleando una probeta de ensayo Tipo B.

6.5 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Se toma una probeta cilíndrica con diámetro de $30,5 \text{ mm} \pm 0,8 \text{ mm}$ y una longitud longitud de $533 \text{ mm} \pm 25,4 \text{ mm}$, la cual se ubica a manera de viga simple sobre dos puntos o soportes ubicados a una distancia de 457 mm. Se aplica una fuerza puntual perpendicular al eje longitudinal de la probeta, de la magnitud indicada en el numeral 5.2.3, hasta que se produzca la rotura o se alcance la deflexión indicada. La velocidad de aplicación de la carga debe ser tal que la rotura se produzca en no menos de 20 s.

6.6 ACABADO SUPERFICIAL DEL ÁREA DE FRENADO

Se determina por medio de un rugosímetro. Se pasa el palpador del rugosímetro sobre el área de frenado de las caras del disco y se registra su medición.

6.7 ALABEO (*Run - Out*)

Se coloca el disco para freno en un dispositivo que simule las condiciones de montaje en el vehículo. Luego, con un comparador de carátula que tenga una precisión de 0,001 mm, colocado en el centro del área de frenado, se determina el alabeo girando el disco una vez sobre su eje. Se registra el alabeo como la diferencia entre las lecturas máxima y mínima del comparador. La medición se efectúa en ambas caras del disco.

6.8 PARALELISMO ENTRE CARAS

Este ensayo se puede realizar en una máquina de medición por coordenadas (tridimensional) o en un dispositivo dispositivos de fijación de acuerdo con el tamaño de cada disco.

Un ejemplo de este método puede consistir en colocar el disco para freno en un dispositivo que simule las condiciones de montaje en el vehículo, luego se colocan simultáneamente sobre la caras del disco dos comparadores de carátula que posean una precisión de 0,001 mm. La medición se realiza desplazando simultáneamente los comparadores en dirección radial. Se deben tomar mediciones a cada 30° de giro del disco. La falta de paralelismo se registra como la diferencia entre la lecturas máxima y mínima de los comparadores.

6.9 DESBALANCEO

Se coloca el disco para freno en una máquina de balanceo dinámico o dispositivo similar. Luego se registra el valor de desbalanceo que aparece en el dial indicador de la máquina.

6.10 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS

Se realiza de acuerdo con lo indicado en la NTC 1526.

NOTA 6 Este ensayo se realiza para automotores con hasta 28 500 N (2 700 kgf) de peso bruto vehicular (automóviles, camperos y camionetas).

7. TOMA DE MUESTRAS Y RECEPCIÓN DEL PRODUCTO

7.1 TOMA DE MUESTRAS

Los planes de muestreo u otra toma de muestras diferentes a los especificados en esta norma, pueden acordarse entre las partes. Se pueden usar los planes de muestreo establecidos en la GTC 99 y las normas de la serie NTC-ISO 2859 partes 1, 2 ó 3 o en la norma NTC-ISO 3951-1, o en la serie ISO 3951.

7.2 ACEPTACIÓN O RECHAZO

Si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos indicados en esta norma, se rechazará el lote. En caso de discrepancia se repetirán los ensayos sobre la muestra reservada para tales efectos. Cualquier resultado no satisfactorio en este segundo caso será motivo para rechazar el lote.

8. EMPAQUE Y ROTULADO

8.1 Los discos para freno se entregarán debidamente protegidos de los agentes atmosféricos. Así mismo se deberán proteger de los posibles deterioros que pueda ocasionar su transporte.

8.2 Los discos para freno deberán llevar como mínimo en forma clara y durable y en un lugar que no sea perjudicial para su servicio, las siguientes indicaciones:

- a) Marca del fabricante, o logotipo del fabricante, o código del fabricante o inscripción numérica o alfanumérica que permita definir la trazabilidad del disco (fabricante, lote o colada, material, etc).
- b) Espesor mínimo de uso.

ANEXO A (Informativo)

BIBLIOGRAFÍA

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Fundiciones de hierro gris, usadas en la industria automotriz. Bogotá, Colombia. Octubre de 1975. (NTC 377).

ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA. 2001. *Standard specification for automotive Gray Iron Castings*. (ASTM A159).

ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA. 1998. *Evaluating the Microstructure of Graphite in Iron Casting*. (ASTM A247).

ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA. 2001 *Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*. (ASTM E3).

Comisión Venezolana de Normas Industriales Ministerio de Fomento, Avenida Andrés Bello Edificio Torre Fondo Común Piso 11 y 12, Caracas. 1978. Fundición gris. Ensayo de flexión estática. (COVENIN 1247).

Comisión Venezolana de Normas Industriales Ministerio de Fomento, Avenida Andrés Bello Edificio Torre Fondo Común Piso 11 y 12, Caracas. 1979. Tambores y discos de frenos de fundición gris para vehículos automotores. (COVENIN 1258).

Comisión Venezolana de Normas Industriales Ministerio de Fomento, Avenida Andrés Bello Edificio Torre Fondo Común Piso 11 y 12, Caracas. 1992. Vehículos automotores. Tambores y discos de frenos. (COVENIN 2938).

The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space. Automotive Gray Iron Castings 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-001. Diciembre 2 000 (SAE J431).

TABLE 1 Symbols and Designations

NOTE 1—Constant = $\frac{1}{k_2} = \frac{1}{9.80665} = 0.102$

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	Brinell hardness
	$\text{Constant} \times \frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	$= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

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 A—GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR BRINELL HARDNESS TESTS

5. Apparatus

5.1 *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 overshoot, etc. See equipment manufacturer's instruction manual for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedure.

5.2 *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

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 HBW.

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:

6.1.1 *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).

6.1.2 The minimum width shall conform with the requirements of 8.3.

6.1.3 *Finish*—When necessary, the surface on which the indentation is to be made shall be filed, 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.

7. Verification of Testing Machine

7.1 *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.

7.2 *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 ±1 %. 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 ±3 % of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

TABLE 1 Symbols and Designations

Note 1—Constant = $\frac{1}{k_{0.05}} = \frac{1}{9.80665} = 0.102$

Symbol	Designation
D	Diameter of the ball, mm
F	Test force, N
d	Mean diameter of the indentation, mm
h	Depth of the indentation, mm
HBW	Brinell hardness
	$= \text{Constant} \times \frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	$= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

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 A—GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR BRINELL HARDNESS TESTS

5. Apparatus

5.1 *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 overshoot, etc. See equipment manufacturer's instruction manual for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedure.

5.2 *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

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:

6.1.1 *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).

6.1.2 The minimum width shall conform with the requirements of 8.3.

6.1.3 *Finish*—When necessary, the surface on which the indentation is to be made shall be filed, 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.

7. Verification of Testing Machine

7.1 *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.

7.2 *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 ±1 %. 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 ±3 % of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

TABLE 2 Brinell Hardness Numbers^a
(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	2.80	92.8	278	555	3.20	60.5	182	363	3.80	42.4	127	255
2.01	158	468	936	2.81	91.8	276	551	3.21	60.1	180	361	3.81	42.2	127	253
2.02	154	463	926	2.82	91.1	273	547	3.22	59.8	179	359	3.82	42.0	126	252
2.03	153	459	917	2.83	90.4	271	543	3.23	59.4	178	358	3.83	41.7	125	250
2.04	151	454	908	2.84	89.7	269	538	3.24	59.0	177	354	3.84	41.5	125	249
2.05	150	450	899	2.85	89.0	267	534	3.25	58.6	176	352	3.85	41.3	124	248
2.06	148	445	890	2.86	88.4	265	530	3.26	58.3	175	350	3.86	41.1	123	246
2.07	147	441	882	2.87	87.7	263	526	3.27	57.9	174	347	3.87	40.9	123	245
2.08	146	437	873	2.88	87.0	261	522	3.28	57.5	173	345	3.88	40.6	122	244
2.09	144	432	865	2.89	86.4	259	518	3.29	57.2	172	343	3.89	40.4	121	242
2.10	143	428	856	2.90	85.7	257	514	3.30	56.8	170	341	3.90	40.2	121	241
2.11	141	424	848	2.91	85.1	255	510	3.31	56.5	169	339	3.91	40.0	120	240
2.12	140	420	840	2.92	84.4	253	507	3.32	56.1	168	337	3.92	39.8	119	239
2.13	139	416	832	2.93	83.8	251	503	3.33	55.8	167	335	3.93	39.6	119	237
2.14	137	412	824	2.94	83.2	250	499	3.34	55.4	166	333	3.94	39.4	118	236
2.15	136	408	817	2.95	82.6	248	495	3.35	55.1	165	331	3.95	39.1	117	235
2.16	135	404	809	2.96	81.9	246	492	3.36	54.8	164	329	3.96	38.9	117	234
2.17	134	401	802	2.97	81.3	244	488	3.37	54.4	163	326	3.97	38.7	116	232
2.18	132	397	794	2.98	80.6	242	485	3.38	54.1	162	325	3.98	38.5	116	231
2.19	131	393	787	2.99	80.2	240	481	3.39	53.8	161	323	3.99	38.3	115	230
2.20	130	390	780	3.00	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	156	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	206
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

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	5.06	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	13.6	41.4	82.6
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	38.6	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	76.6
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	6.85	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

¹ 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 2.5/25	2.5	1	245.2 N - (25 kgf)
HBW 2.5/127.5	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)

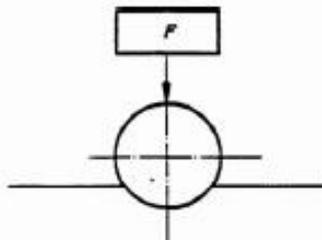


FIG. 1 Principle of Test

requirements of 6.1.1, 6.1.2, and 8.3 may determine the maximum permissible diameter of indentation for a specific 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

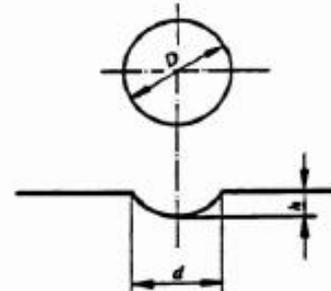


FIG. 2 Principle of Test

TABLE 4 Tolerances for Brinell Hardness Balls

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	±0.005
5	±0.004
2.5	±0.003
2	±0.003
1	±0.003

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	Force	
			3000-kgf Force	
			1500-kgf Force	
			500-kgf Force	
1/8	1.6	602	301	100
1/4	3.2	301	150	50
3/8	4.8	201	100	33
1/2	6.4	150	75	25
5/8	8.0	120	60	20
3/4	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 specifically 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:

$$\begin{aligned} 0.102F/D^2 &= 30 \text{ for } 29.42 \text{ kN (3000 kgf) force and 10-mm ball,} \\ 0.102F/D^2 &= 15 \text{ for } 14.72 \text{ kN (1500 kgf) force and 10-mm ball, and} \\ 0.102F/D^2 &= 5 \text{ for } 4.90 \text{ kN (500 kgf) force and 10-mm ball.} \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} 0.102F/D^2 &= 2.5 & (2) \\ 0.102F/D^2 &= 1.25 \\ 0.102F/D^2 &= 1.0 \end{aligned}$$

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 $2\frac{1}{2}$ 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 20 \times) 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

10.1 There is no general method for accurately converting Brinell hardness numbers to other hardness scales or tensile strength values. Such conversion 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

13.1 Test Method B covers two procedures for the verification of Brinell hardness testing machines. These are as follows:

13.1.1 *Direct Verification*—Separate verification of force application, indenter, and the measuring device for measuring the diameter of the indentation.

13.1.2 *Indirect Verification*—Verification by the standardized test block method.

13.2 New or rebuilt machines shall be initially checked by the direct verification method (see 13.1.1) before being placed in service.

13.3 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.

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:

14.2.1 The change from test force application to measuring does not influence the readings.

14.2.2 The method of illumination does not affect the readings.

14.2.3 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 ±1 %.

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 five 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.

15.2.1 A Brinell hardness testing machine also may be checked by making a series of at least five indentations on standardized hardness test blocks (Test Method C).

15.2.2 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.

15.2.3 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 $0.102 F/D^2 = 5$ 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:

$$d_n - d_1 \tag{3}$$

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:

$$\bar{H} - H \tag{4}$$

where:
error = $\bar{H} - H$

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \tag{5}$$

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.

15.2.6 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.

15.2.7 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	$H_1 - H_2$, max
<225	0.04 \bar{d}	100	9
		200	17
		300	12
		400	17
		500	20
>225	0.02 \bar{d}	600	24

16.1.1 Make at least one routine check in accordance with 16.1.2 each day that the testing machine is used.

16.1.2 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 C—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 16 mm (5/8 in.) in thickness for 10-mm balls, 12 mm (1/2 in.) thick for 5-mm balls, and 6 mm (1/4 in.) thick for smaller balls.

18.1.1 The maximum surface area of the test block shall be 40 cm² (6 in.²) for balls less than 5 mm in diameter, and 150 cm² (24 in.²) for balls equal to or greater than 5 mm in diameter.

18.2 Each block shall be specially prepared and heat treated to give the necessary homogeneity and stability of structure.

18.3 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.

18.4 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- μ in.) centerline average.

18.5 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- μ 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 μ in.) is recommended.

18.6 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.)

18.7 Each block, if of steel, shall be demagnetized by the manufacturer and maintained demagnetized by the user.

18.8 Each block must be uniquely serialized by the manufacturer for traceability.

19. Standardizing Procedure

19.1 The standardized blocks shall be calibrated on a Brinell hardness testing machine which was verified in accordance with the requirements of 15.1.

19.2 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).

19.3 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.

19.4 The test force shall be applied for 10 to 15 s.

19.5 The standardized blocks shall be calibrated at a temperature of $23 \pm 5^\circ\text{C}$, using the general procedure described in Test Method A.

20. 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 five uniformly distributed indentations shall be made on the test surface of the block.

22. Measurement of the Diameters of the Indentation

22.1 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.

22.2 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.

22.3 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 ± 0.001 mm (0.00004 in.) for balls of less than 5-mm diameter and within ± 0.002 mm (0.00008 in.) for balls of larger diameter.

23. Uniformity of Hardness

23.1 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 five indentations.

23.2 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.

24. Marking

24.1 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.

24.1.4 Name or mark of the calibrating agency if different from supplier.

24.1.5 The thickness of the block or an official mark on the test surface (see 18.6).

24.1.6 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:

24.3.1 Date of standardization,

24.3.2 Serial number of block, and

24.3.3 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 7—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 610-832-9685 (phone), 610-832-9655 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).