

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

Tema: “ESTUDIO DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 4032
REFORZADO CON PARTÍCULAS DE CARBURO DE SILICIO
Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA, RESISTENCIA Y
TENACIDAD”

Trabajo de investigación
Previa a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico.

Autor: Luis Fabricio Santana Mera

Tutor: Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

AMBATO – ECUADOR

2013

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de investigación, previo a la obtención de título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “Estudio de la aleación de aluminio 4032 reforzado con partículas de carburo de silicio y su incidencia en la dureza, resistencia y tenacidad”, elaborado por el Señor Luis Fabricio Santana Mera, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisada cada uno de sus capítulos.
- Esta concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Noviembre del 2013.

Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos
TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

AUTORÍA DE LA TESIS

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema: “ESTUDIO DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 4032 REFORZADO CON PARTÍCULAS DE CARBURO DE SILICIO Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA, RESISTENCIA Y TENACIDAD” nos corresponde exclusivamente de Luis Fabricio Santana Mera Autor y de Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos Tutor del Trabajo de Investigación; el Patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

Luis Fabricio Santana Mera

Autor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación con gran respeto, cariño y amor a Dios, quien me dio la vida y las fuerzas para llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi padre Luis y a mi madre Marthi por ser el pilar más importante en mi existencia, haberme acompañado durante todo mi trayecto de vida y demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.

A mi hermana Lore y mi sobrina Belén, quienes con sus bellas ocurrencias me llenan de alegría, las amo mucho.

A todas aquellas personas que me brindaron su amistad sincera y apoyo cuando más lo necesite.

Fabricio

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional, también agradezco su apoyo con el Laboratorio de Fundición, Laboratorio de materiales y Laboratorio de Resistencia de Materiales.

A mi tutor de investigación el Ing. Mg. Segundo Espín, quien con su experiencia y paciencia me brindó su valiosa guía, asesoramiento y apoyo en la realización de la misma.

A mis padres por confiar en mí y darme su apoyo económico y emocional, sin los cuales no habría llegado hasta este momento tan importante en mi camino.

A todas esas personas que han formado parte de mi vida en mi formación profesional, docentes, compañeros de aula y de facultad, que me brindaron su amistad, agradezco sus consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

TÍTULO	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DE LA TESIS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xv
SIMBOLOGÍA.....	xvii
RESUMEN EJECUTIVO	xxi

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema de investigación	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis Crítico	2
1.2.3 Prognosis	3
1.2.4 Formulación del problema	3
1.2.5 Preguntas directrices	3
1.2.6 Delimitación del problema.....	4
1.2.6.1 Delimitación de contenido	4
1.2.6.2 Delimitación espacial	4
1.2.6.3 Delimitación temporal.....	4
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5

1.4.2	Objetivos específicos	5
-------	-----------------------------	---

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes investigativos.....	7
2.2	Fundamentación filosófica.....	10
2.3	Fundamentación legal.	10
2.4	Categorías fundamentales	11
2.4.1	Variable Independiente: Materiales Compuestos	11
2.4.1.1	Clasificación de los materiales compuestos.....	12
2.4.1.2	Materiales compuestos de matriz metálica.	15
2.4.1.3	Fundición de materiales compuestos de matriz metálica.....	22
2.4.1.4	Solidificación de los materiales compuestos.....	25
2.4.1.5	Problemática en la fabricación y en la puesta en servicio de los materiales compuestos de matriz de aluminio y refuerzo cerámico.	26
2.4.2	Variable Dependiente: Propiedades Mecánicas de los Materiales....	27
2.4.2.1	Ensayo de Dureza.....	27
2.4.2.2	Ensayo de Tracción.	31
2.4.2.3	Ensayo de Impacto.	38
2.5	HIPÓTESIS.....	40
2.5.1	Unidades de observación.....	40
2.5.2	Señalamiento de variables de la hipótesis.....	40
2.5.3	Término de relación	40

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Modalidad básica de la investigación	41
3.2	Nivel o tipo de la investigación.....	41
3.3	Población y muestra.	43
3.4	Operacionalización de variables.	45
3.4.1	Variable independiente:	45
3.4.2	Variable dependiente:.....	46
3.5	Plan de recolección de información.	47

3.6	Procesamiento y análisis.	48
3.6.1	Plan de procesamiento de la información.	48
3.6.2	Plan de análisis e interpretación de resultados.	48

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	Análisis de los resultados.	49
4.1.1	Proceso de obtención y análisis de resultados.	49
4.1.2	Presentación de análisis de resultados.	50
4.1.2.1	Pruebas preliminares.	50
4.1.2.2	Casos de investigación.	91
4.2	Interpretación de los resultados.	167
4.2.1	Interpretación de los resultados del ensayo de tracción.	167
4.2.2	Interpretación de los resultados del ensayo metalográfico.	173
4.2.3	Interpretación de los resultados del ensayo de dureza.	174
4.2.4	Interpretación de los resultados del ensayo impacto.	175
4.2.5	Interpretación de los resultados del ensayo de Desgaste Adhesivo	176
4.2.6	Resumen de los resultados.	177
4.3	Verificación de hipótesis.	177
4.3.1	Prueba t para 2 colas con un porcentaje de refuerzo del 2% con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	178
4.3.1.1	DUREZA (2% de Refuerzo)	178
4.3.1.2	RESISTENCIA (2% de Refuerzo)	180
4.3.1.3	TENACIDAD (2% de Refuerzo)	181
4.3.2	Prueba t para 2 colas con un porcentaje de refuerzo del 3% con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	182
4.3.2.1	DUREZA (3% de Refuerzo)	182
4.3.2.2	RESISTENCIA (3% de Refuerzo)	183
4.3.2.3	TENACIDAD (3% de Refuerzo)	184
4.3.3	Prueba t para 2 colas con un porcentaje de refuerzo del 4% con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	186
4.3.3.1	DUREZA (4% de Refuerzo)	186
4.3.3.2	RESISTENCIA (4% de Refuerzo)	187

4.3.3.3	TENACIDAD (4% de Refuerzo).....	188
4.3.4	Prueba t para 2 colas con un porcentaje de refuerzo del 5% con un nivel de significancia $\alpha=0.05$	189
4.3.4.1	DUREZA (5% de Refuerzo).....	189
4.3.4.2	RESISTENCIA (5% de Refuerzo).....	191
4.3.4.3	TENACIDAD (5% de Refuerzo).....	192

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	194
5.2	Recomendaciones.....	196

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1	Datos informativos.....	198
6.2	Antecedentes de la propuesta.....	198
6.3	Justificación.....	199
6.4	Objetivos.....	199
6.4.1	Objetivo general:.....	199
6.4.2	Objetivos Específicos:.....	199
6.5	Análisis de factibilidad.....	200
6.6	Fundamentación.....	200
6.6.1	Cálculos del Ensayo de Tracción.....	200
6.6.1.1	Cálculos de Resistencia Última a la Tracción.....	201
6.6.1.2	Cálculo de Resistencia a la Cedencia.....	201
6.6.1.3	Cálculo del Porcentaje de Elongación.....	202
6.6.1.4	Cálculo del Porcentaje de Reducción de Área.....	202
6.6.1.5	Cálculo de Módulo de Young.....	202
6.6.2	Cálculos del Ensayo de Dureza.....	204
6.6.3	Cálculo del Ensayo de Impacto.....	205
6.6.4	Cálculos del Ensayo Metalográfico.....	206
6.6.4.1	Determinación del Tamaño de Grano.....	206
6.6.5	Cálculo de Desgaste Adhesivo en Seco.....	207

6.7 Metodología. Modelo Operativo.....	211
6.7.1 Reforzamiento del aluminio con partículas de carburo de silicio ...	211
6.7.2 Ensayo De Tracción.....	227
6.7.3 Ensayo Metalográfico.....	233
6.7.4 Ensayo De Dureza.....	237
6.7.5 Ensayo De Impacto.....	241
6.7.6 Ensayo De Desgaste Adhesivo En Seco.....	244
6.8 Administración.....	250
6.9 Previsión de la evaluación.....	251
BIBLIOGRAFÍA:	252

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Microestructura del material compuesto con matriz metálica de aluminio en solución sólida con magnesio y manganeso(a); y partículas de carburo de silicio.....	8
Figura 2.2 Modulo elástico y resistencia mecánica de distintos materiales en relación a su densidad.	12
Figura 2.3 Partículas de carburo de silicio	13
Figura 2.4 Fibra de arámida para refuerzo de cordaje y cable.....	14
Figura 2.5 Laminado de fibras de carbono.....	15
Figura 2.6 Elementos aleantes usados en las aleaciones de aluminio.....	17
Figura 2.7 Composición Química de las principales aleaciones de aluminio de la serie 4XXX.....	18
Figura 2.8 Microestructura de la aleación Fundición de aluminio A312 - F. Red interdendrítica de silicio eutéctico (Medio gris de la escritura), Mg ₂ Si (Guión Negro), CuNiAl ₈ (Guión gris claro), NiAl ₃ (partículas de color gris oscuro).....	19

Figura 4.5 Mezclador 4 paletas verticales. 4 x 5.5cm.....	84
Figura 4.6 Probeta con presencia de macroporos obtenida de la prueba 9.	85
Figura 4.7 Comparación de Resistencia a Tracción (Sut).....	170
Figura 4.8 Comparación de Resistencia a la Cedencia (Sy).	171
Figura 4.9 Comparación del porcentaje de Elongación (%E).....	171
Figura 4.10 Comparación del porcentaje de Reducción de área.....	172
Figura 4.11 Comparación del Módulo de Young.	172
Figura 4.12 Comparación del tamaño de grano.	173
Figura 4.13 Comparación de la Dureza promedio.	174
Figura 4.14 Comparación de la Energía de Rotura de Impacto.	175
Figura 4.15 Comparación de Coeficiente experimental (k).....	176
Figura 6.1 Determinación del límite elástico convencional al 0.2% de deformación en la probeta ET 6.1 del compuesto de matriz de aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de Carburo de Silicio Grit 400 obtenido por stir casting y colado en arena.....	201
Figura 6.2 Pistones 4032 reciclados en rectificadoras y mecánicas.	212
Figura 6.3 Prelavado de Pistones – Baño en solución química.....	212
Figura 6.4 Lavado a presión con agua caliente.	213
Figura 6.5 Prensa Hidráulica utilizada para la rotura de los pistones.	213
Figura 6.6 Pistones rotos por la prensa.	214
Figura 6.7 Pistones cepillados. (Limpieza Final).....	214
Figura 6.8 Carga de Aluminio 4032 Pesada en Balanza de Precisión.	215

Figura 6.9 Caja de moldeo. (A la izquierda se encuentra la parte con guías macho y a la derecha con guías hebra).....	215
Figura 6.10 Prueba del puño. (Arena Verde)	216
Figura 6.11 Arena tamizada. (Malla #80)	217
Figura 6.12 Modelo cilíndrico cortado en 2 partes iguales.....	217
Figura 6.13 Paredes de las cajas de moldeo humedecidas con un chisquete.	218
Figura 6.14 Caja inferior invertida con la mitad del modelo cilíndrico boca abajo.....	218
Figura 6.15 Nivelado de la caja de moldeo con un perfil plano.	219
Figura 6.16 Ensamble de la parte superior del modelo. a) Caja invertida, b) Centrado de la parte superior del modelo, c) Inmovilizado del modelo con guías.	219
Figura 6.17 Ensamble del par superior de la caja de moldeo y ubicado de los bebederos.	220
Figura 6.18 Caja de moldeo inferior separada.	220
Figura 6.19 Forma del modelo en la arena con los canales de distribución.....	220
Figura 6.20 Secado de la arena de moldeo con mechero a gas.	221
Figura 6.21 Panel de control del Horno de inducción.....	222
Figura 6.22 Crisol de Grafito Aislado con Lana Térmica.....	222
Figura 6.23 Adición del escorificador a la colada.....	223
Figura 6.24 Mezclado manual de la colada.....	223
Figura 6.25 Limpieza de la escoria superficial de la colada.	224

Figura 6.26	Descenso de la campana del Stircasting.	224
Figura 6.27	Colada de Aleación de Aluminio 4032 Homogenizada con Carburo de Silicio SiC.	225
Figura 6.28	Colado en Arena.	225
Figura 6.29	Desmolde de probetas del molde de Arena.	226
Figura 6.30	Probeta recuperada y limpiada.....	226
Figura 6.31	Probetas recuperadas sin los bebederos.....	228
Figura 6.32	Medidas de probeta para en ensayo.	228
Figura 6.33	Probetas para el ensayo a tracción bajo la norma ASTM E8:00b .	229
Figura 6.34	Probeta montada en la máquina Universal.	230
Figura 6.35	Montaje del deformímetro.	230
Figura 6.36	Asegurado con pasador del deformímetro.....	230
Figura 6.37	Máquina Universal lista para en ensayo.	231
Figura 6.38	Curva Esfuerzo Deformación	232
Figura 6.39	Corte de la probeta en Discotom para Análisis Metalográfico.....	234
Figura 6.40	Desbastado de la probeta en el Banco de Lijas.....	234
Figura 6.41	Pulido de la probeta en Pulidora de Disco.....	235
Figura 6.42	Secado de la superficie con ventilador.	235
Figura 6.43	Ataque químico. Reactivo de keller (5 ml de HNO ₃ y 190 ml de agua destilada).....	236
Figura 6.44	Observación de la microestructura del compuesto.	236

Figura 6.45 Preparación del Durómetro.....	238
Figura 6.46 Selección de la carga del durómetro.....	238
Figura 6.47 Encerado del indentador contra la probeta.	238
Figura 6.48 Aplicación de la carga al durómetro.....	239
Figura 6.49 Medición de la huella en la probeta.....	239
Figura 6.50 Gráfica comparativa de durezas medidas en el compuesto 5% de refuerzo de SiC.....	240
Figura 6.51 Probeta colocada en los apoyos del péndulo Charpy.....	242
Figura 6.52 Probeta colocada en los apoyos del péndulo Charpy.....	242
Figura 6.53 Maquinado de probetas en el torno.....	245
Figura 6.54 Balanza F.I.C.A.L de 0.1 mg de precisión.....	246
Figura 6.55 Tribómetro de Desgaste Adhesivo en seco.....	246
Figura 6.56 Sujeción de la probeta fija.	247
Figura 6.57 Sujeción de la probeta móvil.	248
Figura 6.58 Probetas en contacto a 90 grados.....	248
Figura 6.59 Cronómetro y contador de revoluciones.....	248

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tamaños grano estándar de partículas de Carburo de Silicio (SiC) abrasivo.	13
Tabla 2.2 Escalas de dureza Rockwell.....	29

Tabla 4.1 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 1 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde sin escorificar ni desgasificar con 0% de adición de Carburo de Silicio.....	167
Tabla 4.2 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 2 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 0% de adición de Carburo de Silicio.	167
Tabla 4.3 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 3 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 2% de adición de Carburo de Silicio.	168
Tabla 4.4 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 4 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 3% de adición de Carburo de Silicio.	168
Tabla 4.5 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 5 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 4% de adición de Carburo de Silicio.	169
Tabla 4.6 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 6 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 5% de adición de Carburo de Silicio.	169
Tabla 4.7 Tabla de Resumen de los ensayos de tracción de los 6 de estudio.	170
Tabla 4.8 Resultados promedio de ensayos de Tamaño de Grano de las probetas.	173
Tabla 4.9 Resultados de los componentes microestructurales de las probetas. ...	174
Tabla 4.10 Resultados promedio de ensayos de dureza de las probetas.	174
Tabla 4.11 Resultados promedio de ensayos de impacto de las probetas.....	175
Tabla 4.12 Tabla del coeficiente experimental (K).....	176

Tabla 4.13	Tabla de Resumen de Resultados.....	177
Tabla 6.1	Resultados registrados del ensayo a tracción:.....	200
Tabla 6.2	Parámetros calculados para determinar el módulo de elasticidad:	203
Tabla 6.3	Determinación de la dureza del compuesto matriz de aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de Silicio:.....	205
Tabla 6.4	Resultado del ensayo de Impacto del compuesto matriz de aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de Silicio:.....	205
Tabla 6.5	Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 6 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escoriado y desgasificado con 5% de adición de Carburo de Silicio.	231
Tabla 6.6	Resultados de los ensayos de dureza de las probetas ET 6 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escoriado y desgasificado con 5% de adición de Carburo de Silicio.	240
Tabla 6.7	Resultados de los ensayos de Impacto de las probetas ET 6 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escoriado y desgasificado con 5% de adición de Carburo de Silicio.	243
Tabla 6.8	Valores observados del coeficiente de desgaste k para número de pares tribológicos con deslizamiento en seco.	249
Tabla 6.9	Costos de la investigación.....	250

SIMBOLOGÍA

- A_f = Área final
- A_0 = Área inicial
- Al = Aluminio
- C = Carbono
- Cr = Cromo
- Cu = Cobre

- Φ_0 = Diámetro inicial
- Φ_f = Diámetro final
- °C = Grados centígrados
- **D** = Diámetro del indentador
- **d** = Huella dejada por el indentador
- **Dp** = Diámetro de la probeta
- δ = Densidad
- **E** = Módulo de elasticidad
- **ED** = Ensayo de dureza
- **EI** = Ensayo de impacto
- **ET** = Ensayo de tracción
- ϵ = Deformación
- **f** = Multiplicador Jeffries para el método planimétrico
- **Fe** = Hierro
- **G** = Número de grano ASTM.
- **Gpa** = Gigapascales
- **H** = Dureza en Kg/mm²
- **H₀** = Hipótesis Nula
- **H₁** = Hipotesis Alternativa
- **HB** = Hard Brinell (Dureza Brinell)
- **HR** = Hard Rockwell (Dureza Rockwell)
- **in** = Pulgada
- **J** = Joules
- **K** = Coeficiente experimental de desgaste adhesivo en seco
- **kg** = Kilogramos
- **l** = Longitud de la probeta
- **lb** = Libra
- **Lf** = longitud final
- **L₀** = Longitud inicial
- **m** = Masa
- **mi** = Masa inicial

- ***m_o*** = Masa final
- ***Mg*** = Magnesio
- ***mm*** = Milímetros
- ***Mn*** = Manganeso
- ***N*** = Newton
- ***N'*** = Número de observaciones
- ***NA*** = Número de granos por mm²
- ***Ni*** = Níquel
- ***N_{in}*** = Número de granos completos en la prueba de círculo
- ***N_{int}*** = Número de granos Interceptados por la prueba de círculo
- ***μ_d*** = Media proporcional de la dureza
- ***μm*** = micras o micrometros
- ***μ_r*** = Media proporcional de la resistencia
- ***μ_t*** = Media proporcional de la tenacidad
- ***nm*** = nanómetros
- **# rev** = Número de revoluciones que gira la probeta
- ***O*** = Oxígeno
- ***P*** = Carga aplicada
- ***P_{máx}*** = Carga máxima aplicada
- **%** = Porcentaje
- **%E** = Porcentaje de elongación
- **%RA** = Porcentaje de reducción de área
- ***r*** = Radio de la probeta
- ***S*** = Desviación estándar
- ***S²*** = Varianza
- ***Si*** = Silicio
- ***SiC*** = Carburo de Silicio
- ***σ*** = Esfuerzo
- ***ΣΔm*** = Volumen de desgaste
- ***S_{ut}*** = Resistencia a la tracción
- ***S_y*** = Resistencia a la Cedencia

- t = Valor t estadístico
- Ti = Titanio
- v = Volumen
- Vd = Velocidad de desgaste
- X = Valor promedio de cada observación
- \bar{X} = Media de una muestra tamaño
- Zn = Zinc

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

Autor: Luis Fabricio Santana Mera.

Tutor: Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos.

Fecha: Noviembre del 2013.

RESUMEN EJECUTIVO

El Presente trabajo muestra la investigación realizada en fundiciones de aluminio 4032 de pistones automotrices reciclados reforzados con diferentes porcentajes de partículas de carburo de silicio, las mismas que fueron obtenidas con la finalidad de comparar las propiedades mecánicas del compuesto.

Se realizaron ensayos de tracción, dureza, impacto y análisis metalográfico en los laboratorios de la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato para determinar la variación de las propiedades mecánicas con 4 porcentajes diferentes de refuerzo, posteriormente fueron tabulados y analizados.

Se obtuvo conclusiones y recomendaciones en función de los resultados obtenidos, que contribuyen a generar procesos de refuerzo con partículas de carburo de silicio que pueden ser aplicados en el campo industrial.

Finalmente se determinó el proceso que mejor combinación de propiedades generó, y se desarrollaron los procedimientos respectivos.

Palabras Clave: Fundición, compuesto, refuerzo, partículas de carburo de silicio, propiedades mecánicas, tracción, dureza, análisis metalográfico, impacto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ESTUDIO DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 4032 REFORZADO CON PARTÍCULAS DE CARBURO DE SILICIO Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA, RESISTENCIA Y TENACIDAD”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Contextualización.

A nivel mundial se fabrican y utilizan ampliamente los compuestos de matriz metálica de aluminio puro y en aleación reforzados, estos forman parte del grupo de los materiales más estudiados durante los últimos 25 años, una de las causas por las cuales se desarrollaron los compuestos es por la necesidad de obtener de propiedades imposibles de conseguir con un material monolítico. En la industria se afrontan retos tecnológicos, cada día y crece la demanda de elementos para mejorar el desempeño y propiedades como la elevada resistencia, rigidez y bajo peso; es por estas razones que varios campos como la aeronáutica, automoción, armamento, electrónica, elementos ortopédicos y deportes apuntan a mejorar los materiales tradicionales o desarrollar nuevos materiales. El mercado mundial de los materiales compuestos ha crecido en forma significativa desde 1994 en 5.7% anual en cantidad hasta que en el 2000 se produjeron siete millones de toneladas. Esta producción pudo haber alcanzado los 10 millones de toneladas en el 2006. [1][SÁNCHEZ, 2010]

En Ecuador se ha aprovechado y utilizado varios materiales compuestos en la industria sin embargo gran parte de los elementos utilizados son de nacionalidad extranjera. Existe despreocupación en el medio por la fabricación de materiales

con propiedades superiores a las tradicionales. Según la publicación de la revista Ingenius de Cuenca obtuvo como conclusión que en la ciudad se presentan bajos niveles de producción y exportación de productos de reciente generación, no se mejora las propiedades físicas y químicas de los materiales que se traduce en dar valor agregado a sus productos, Ecuador ocupa el puesto trece de dieciséis países Latinoamericanos dar valor agregado a sus materiales. [2] [FAJARDO, 2010]

A nivel provincial y de la ciudad existen principalmente dos metalúrgicas reconocidas a nivel nacional las mismas que han apuntado su producción a la fundición piezas utilizando materiales tradicionales, descuidando la innovación tecnológica e investigación de los requerimientos exigidos por la industria, obligando a la misma a adquirir productos importados a altos costos que cubran sus expectativas.

1.2.2 Análisis Crítico

Mediante el planteamiento del tema de investigación se crea un método para obtener un material compuesto de matriz metálica de aluminio reforzada mediante partículas de bajo peso y buenas propiedades mecánicas. La matriz de aluminio silicio 4032 fue seleccionada para fundirla ya que contiene un buen porcentaje de silicio, el mismo que logra saturar la aleación y evita la formación de carburo de aluminio, el mismo que fragiliza y debilita la aleación. A base de esta aleación se construyen los pistones automotrices, esto es de gran importancia ya que se puede reciclarlos.

Un factor importante es el energético, refiriéndose siempre al consumo de energía de la fabricación del material. Al reprocesar productos de reciclaje como en este caso son los pistones se está tomando en cuenta el factor económico y medio ambiental. Los compuestos reforzados con partículas también tienen la factibilidad de volver a ser reciclados.

Los materiales reforzados con partículas son factibles de obtener con la tecnología de fundición del medio. Sin embargo es conocido que cualquier cambio en el proceso de fundición nos llevará a la obtención de un incremento o decremento de

las propiedades mecánicas, por lo cual se procurará estandarizar el proceso para poder hacer comparaciones.

1.2.3 Prognosis

Si no se llevaría a cabo el estudio de investigación no se tendría informe del comportamiento del compuesto matriz – refuerzo desde su obtención hasta su comportamiento mecánico, no habría un aporte a la tecnología del medio las metalúrgicas del medio y no verían mas allá de los materiales tradicionales que lo han utilizado siempre, limitando a las industrias productivas a importar productos de reciente generación con mejores propiedades, es decir con un valor agregado, bajando la demanda de las metalúrgicas.

No existiría un aporte al conocimiento del área de ingeniería de materiales, ni se tendrá una fuente que contribuya con datos reales que cimenten las bases para futuras investigaciones.

No habría una reducción de costos de fabricación al utilizar una tecnología económica y buena para el medio ambiente, los compuestos de aluminio brindan la posibilidad de reciclar hasta el 90% de sus componentes con un ahorro de hasta el 95% de la energía necesaria para producir aluminio de bauxita.

1.2.4 Formulación del problema

¿Qué incidencia en la dureza, resistencia a la tracción y tenacidad tendrá reforzar con partículas de carburo de silicio en la aleación Aluminio 4032?

1.2.5 Preguntas directrices

- ✓ ¿Qué cambios relevantes se presentan en la microestructura de la aleación reforzada con distintos porcentajes de refuerzo?
- ✓ ¿Cuál es la dureza que presenta el compuesto al variar los porcentajes del refuerzo?

- ✓ ¿Cuál es la resistencia a la cedencia, resistencia última a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de reducción de área y módulo de Young que presenta el compuesto al variar los porcentajes del refuerzo?
- ✓ ¿Cuál es la tenacidad que presenta el compuesto al variar los porcentajes del refuerzo?
- ✓ ¿Cuál es el mejor porcentaje de refuerzo de carburo de silicio en la aleación Aluminio 4032?

1.2.6 Delimitación del problema

1.2.6.1 Delimitación de contenido

- ✓ Materiales Compuestos.
- ✓ Ingeniería de Materiales.
- ✓ Ingeniería Mecánica.

1.2.6.2 Delimitación espacial

La presente investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.2.6.3 Delimitación temporal

Este proyecto fue ejecutado en el periodo comprendido entre Enero y Noviembre del 2013.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Se realizó el estudio de la formación de compuesto aleación de aluminio 4032 reforzado con partículas de carburo de silicio y luego se verificó las propiedades mecánicas, resulta muy importante para el campo científico - investigativo de la universidad ya que al concluir el estudio también se dio el punto de partida hacia el amplio campo de los materiales de matriz metálica reforzados mediante partículas.

Trabajar con un material reciclado como es la aleación de aluminio 4032 obtenida de pistones usados, es de gran importancia ya que ahorra el 95% de la energía que se requiere para producir aluminio a partir de bauxita en su forma natural. Se selecciono el material debido a su alto contenido de Silicio en la aleación, el mismo que saturó el compuesto y se evitó la formación de carburo de aluminio al agregar el carburo de silicio. El carburo de aluminio fragiliza a la matriz.

Existió factibilidad de realizar el estudio ya que en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se contó con los instrumentos y equipos necesarios ejecutar la investigación. También existieron equipos tanto para análisis metalográfico y la realización de los ensayos para determinar la variación de las propiedades mecánicas del compuesto.

Existió un alto porcentaje de originalidad en la realización del estudio ya que en la carrera no existen estudios previos en el que hayan obtenido un compuesto de matriz metálica reforzada mediante partículas y a la vez se haya evaluado el comportamiento que tienen los compuestos al variar los porcentajes de refuerzo utilizando la tecnología de fundición con la cual contamos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la dureza, resistencia a la tracción y tenacidad al reforzar la aleación de Aluminio 4032 con partículas de carburo de silicio.

1.4.2 Objetivos específicos

- Visualizar la microestructura del compuesto mediante ensayo metalográfico.
- Determinar la variación de dureza que tendrá el compuesto en función del porcentaje de partículas de carburo de silicio.
- Determinar la resistencia a la cedencia, resistencia última a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de reducción de área y módulo de

Young del compuesto bajo diferentes porcentajes de refuerzo mediante el ensayo de tracción.

- Evaluar la tenacidad que presenta el compuesto bajo diferentes porcentajes de refuerzo mediante el ensayo Charpy.
- Establecer los porcentajes adecuados del refuerzo carburo de silicio en la aleación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

➤ **Fuente:** REVISTA HYPATIA No 37. ENERO - MARZO 2011.

Tema: Una amalgama idónea... Material Compuesto

ARCHIVO: Ciencia De Materiales. Dra. Socorro Valdez Rodriguez.

Instituto De Ciencias Físicas De La Universidad Nacional Autónoma De México.
Campus Morelos.

Las partículas más comúnmente usadas como refuerzo, son el carburo de silicio y la alúmina. Partículas cerámicas, que permiten incrementar la resistencia al desgaste, característica principal en aplicaciones de rozamiento en seco. El material compuesto así formado, reporta una considerable mejora en las características físicas y químicas con aplicaciones para diferentes áreas.

El tema que domina el texto es la fabricación de un material compuesto con matriz metálica rica en aluminio, a la que se le adicionó magnesio como primer elemento minoritario y fue entonces, reforzado con partículas de carburo de silicio.

La adición de magnesio y una pizca de manganeso, tiene más de un par de propósitos; éstos son el inducir una buena mojabilidad entre la matriz y las partículas de refuerzo, además de disminuir la densidad específica del material compuesto formado y en combinación con las partículas de carburo de silicio, aumentar el reforzamiento de la matriz.

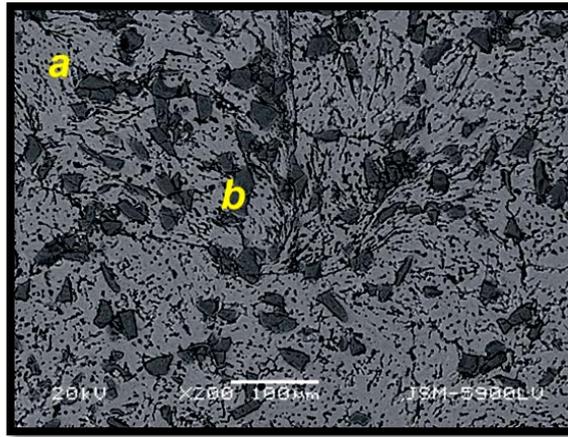
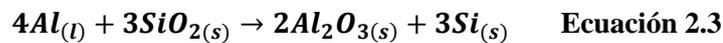
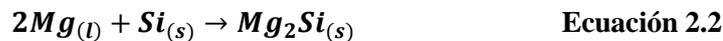
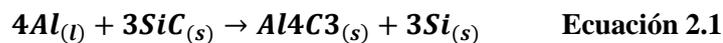


Figura 2.1 Microestructura del material compuesto con matriz metálica de aluminio en solución sólida con magnesio y manganeso(a); y partículas de carburo de silicio.

Fuente: Valdez, S. (2011). Una Amalgama Idonea. *Material Compuesto. Hypatia* (37), 12-14.

Estos precipitados, han sido hallados por otros autores, como consecuencia de la interacción entre las partículas reforzantes de carburo de silicio y la matriz rica en aluminio, tal como puede ser visto en las ecuaciones 1, 2 y 3. [3][VALDEZ, 2011]



➤ **Fuente: P. Bassani, B. Previtali, A. Tuissi. Y Otros.**

Tema: Comportamiento De Solidificación De La Microestructura De La Fundición Del Compuesto A360-Sic.

Politecnico Di Milano, Milan, Italy

En la presente investigación, se estudio la microestructura de solidificación de materiales compuestos a base de Al. Los materiales investigados fueron una aleación de aluminio comercial A360 y los compuestos correspondientes reforzado con 10 y 20 vol. % de partículas de Carburo de silicio (SiC). Los materiales se moldean en condiciones diferentes de un primer conjunto de pruebas

de laboratorio, el objetivo es estudiar el comportamiento de solidificación y las microestructuras relacionados.

La distribución del refuerzo de los materiales compuestos de reparto reveló que se rige por la acción de empuje ejercida por el frente de solidificación de matriz durante la colada, dando lugar a efectos de agrupamiento del SiC. en los límites de las dendritas, especialmente en las fundiciones de arena. En las fundiciones de molde de cobre, experimentando velocidades de enfriamiento razonablemente altas durante la solidificación, mostró una muy fina microestructura dentro del cual los efectos segregaciones de la armadura eran de limitada pertinencia. Las partículas de SiC también revelaron ser un sitio para la nucleación heterogénea de cristales gruesos de Si en los materiales compuestos.

A partir de las investigaciones sobre la aleación A360 a base de partículas reforzado materiales compuestos, las siguientes conclusiones se pueden extraer:

1. Los compuestos podrían ser emitidos satisfactoriamente en diferentes formas y por procesos diferentes, que experimentan una amplia gama de velocidades de enfriamiento.
2. La fusión por inducción generalmente permite lograr una buena homogeneidad de la aleación fundida debido a la agitación electromagnética. Este efecto también reveló para ser adecuado para obtener una dispersión satisfactoria del reforzamiento por partículas de SiC y la prevención de sedimentación debido a la diferencia de densidad con la matriz de la aleación.
3. En arena se produjeron con éxito por agitación mecánica de la fundición. Debido al tamaño más grande de dendritas, la distribución de SiC era menos homogéneas desde el punto de vista microestructural. Sólo se hallaron pequeños defectos relacionados con los fenómenos de fundición, micro contracciones se detectaron en la muestras de arena del elenco.
4. En los compuestos solidificados, las partículas de SiC se encuentran generalmente en los límites de la dendrita debido a la acción de empuje

ejercida por el frente de solidificación. Cuando la rama de la dendrita convirtió tamaño del mismo orden de magnitud del tamaño de partícula (moldes de cobre), este efecto fue menos relevante. No obstante, las regiones agotadas de SiC están relacionadas con la desigual distribución del refuerzo en el líquido compuesto, se observaron todavía en el 10% SiC reforzados compuestos.

5. La presencia de partículas de SiC también reveló para promover la formación de cristales gruesos de Si en la estructura compuesta. [4][BASSANI, 2010]

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.

La presente investigación está ubicada en el paradigma crítico - propositivo; Crítico porque aportará a una realidad de los avances tecnológicos del área de materiales y propositivo porque se buscará plantear una alternativa de solución a la escasa disponibilidad de materiales reforzados que brinden un valor agregado al producto terminado, y aporte con conocimientos para los ingenieros de diseño, para ampliar su aplicación industrial.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.

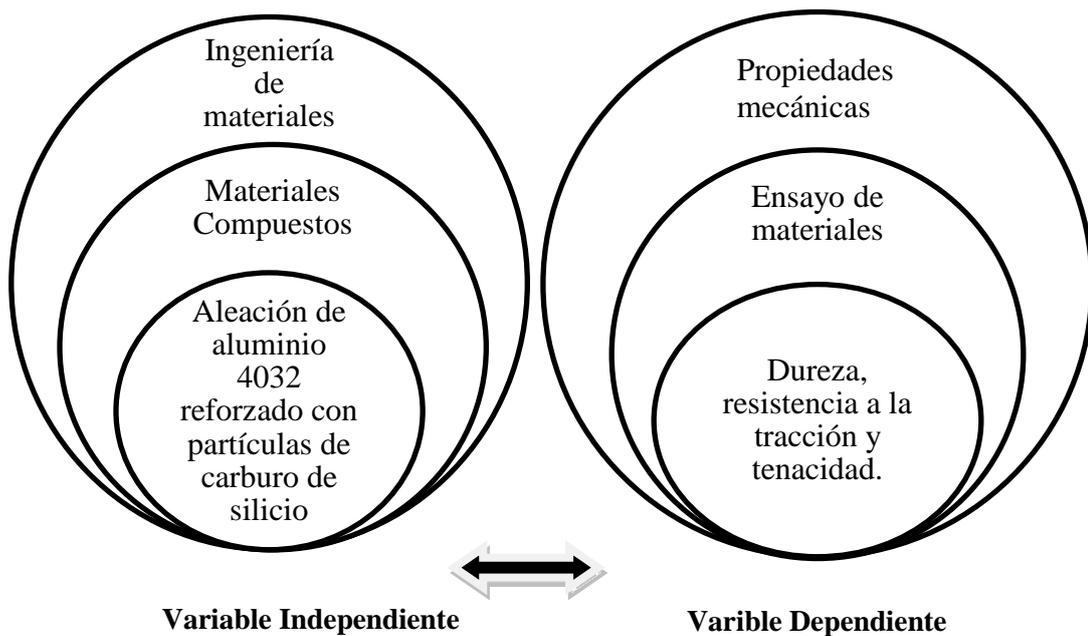
La normativa en la cual se sustentará el tema de investigación sobre el estudio del compuesto de la aleación eutéctica aluminio - silicio reforzado con partículas de carburo de silicio y su incidencia en las propiedades mecánicas es la siguiente:

- ASTM E-3. Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.
- ASTM E-112. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.
- ASTM E-8. Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials.
- ASTM E-111. Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus and Chord Modulus.

- ASTM E-10. Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.
- ASTM E-18. Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials.
- ASTM E-92. Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.
- ASTM E-23. Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

Estudio de la aleación Aluminio 4032 reforzado con partículas de carburo de silicio y su incidencia en la dureza, resistencia a la tensión y tenacidad.



2.4.1 Variable Independiente: Materiales Compuestos

Los materiales compuestos están formados por la mezcla de dos o más materiales de distintos grupos (metálicos, polímeros y cerámicos), es decir; están constituidos por elementos químicamente dispares y generan propiedades que no se encuentran en ninguno de los materiales en forma individual. [1][SANCHEZ, 2010]

En las combinaciones de materiales uno de ellos, llamado fase de refuerzo, tiene la forma de fibras, láminas o partículas, y está embebido en otro material, llamado fase matriz. El material de refuerzo y el de matriz pueden ser de cualquier grupo.

Lo característico es que los materiales de refuerzo sean resistentes, con baja densidad mientras que la matriz suele ser un material dúctil o tenaz. Si el compuesto se diseña y se fabrica de forma correcta en él se combinan la resistencia del refuerzo con la tenacidad de la matriz. [5][SCHAFFER, 2000]

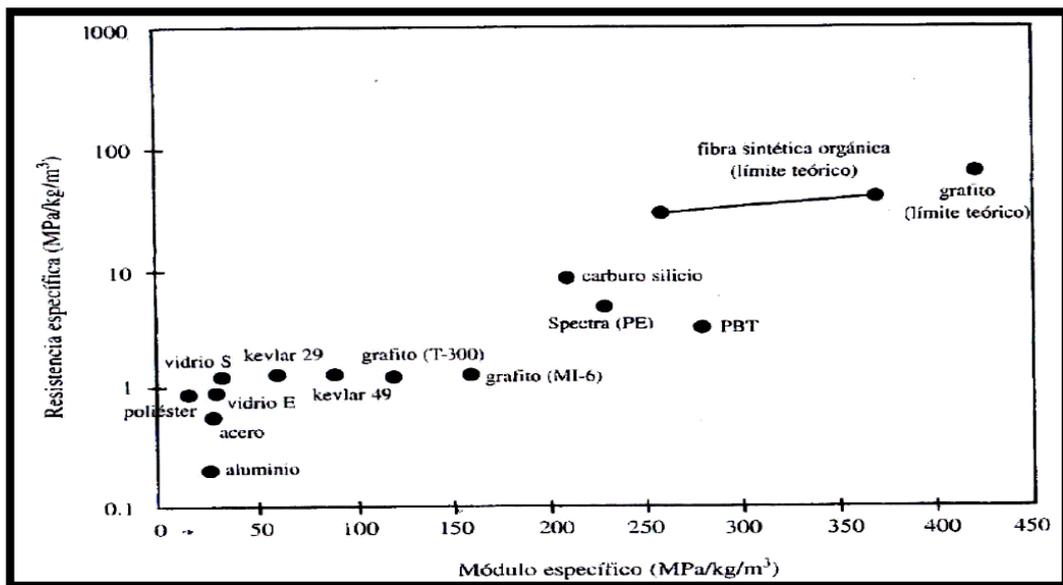


Figura 2.2 Módulo elástico y resistencia mecánica de distintos materiales en relación a su densidad.

Fuente: Shackelford, J. (2005). Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. (Sexta edición ed.). España: Person education S.A.

Los materiales compuestos se pueden combinar para obtener combinaciones no usuales de rigidez, peso, desempeño a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad. [6][ASKELAND, 2009]

2.4.1.1 Clasificación de los materiales compuestos.

De acuerdo al tipo de refuerzo se tienen tres categorías fundamentales: Particulados, reforzados con fibras y laminares.

Particulados.- Son aquellos constituidos por grandes cantidades de partículas que no bloquean el deslizamiento con eficacia y producen combinaciones de propiedades poco usuales. Entre los refuerzos particulados más comunes se

encuentran el Carburo de Tungsteno (WC), el carburo de Tántalo (TaC), el carburo de Titanio (TiC), el carburo de Silicio (SiC), y el nitruro de Boro (BN). Dentro de los materiales particulados se pueden distinguir dos tipos:

Los dispersos y los verdaderos. Los dispersos son materiales endurecidos por dispersión y contienen partículas de 10 a 250nm de diámetro; estos materiales, aunque no necesariamente son coherentes con la matriz bloquean el movimiento de las dislocaciones y producen un marcado endurecimiento de la matriz. Los verdaderos contienen grandes cantidades de partículas gruesas que no bloquean el deslizamiento con eficacia; estos materiales se diseñan para obtener propiedades poco usuales, despreciando la resistencia en el material.

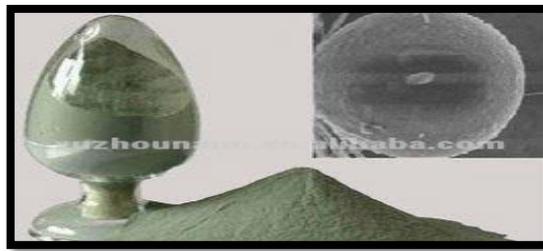


Figura 2.3 Partículas de carburo de silicio

Fuente: <http://www.tradeines.com/product-other-chemicals/silicon-carbide-sic-particle-79111.html>

Tabla 2.1 Tamaños grano estándar de partículas de Carburo de Silicio (SiC) abrasivo.

Standard grit CAMI U.S.	European (P-grade) FEPA	Median Diameter particles size Microns (μm)	Surface Roughness on Steel, Rc 30 (Ra – nm)
60	60	250	-
80	80	180	1140
120	120	106	1050
180	180	75	880
240	220	63	300
320	P360	40.5	230
360	P500	33.15	175
400	P600	25.8	120
600	P1200	15.3	110
800	P2400	6.5	25

(cont...)

1200	P4000	2.5	20
Notes: 1. CAMI: Coated Abrasives Manufacturers Institute (North America) and the American National Standards Institute (ANSI). (Allows a wide tolerance range of particle sizes within the definition of a particular grit) 2. FEPA: Federation of European Producers Association. (More consistent sized grit particles than CAMI) 3. MICRON GRADING: This refers to an abrasive particle's actual diameter in micrometers, rather than the total number of abrasive grains that can pass through a linear inch in a screen or mesh (as the FEPA and CAMI grading system use).			

Fuente: Zipperian, D. (2002) Silicon Carbide Abrasive Grinding. Quality Matters Newsletter. Volume I, Issue 2., 1-3.

Reforzados con fibras.- Estos materiales tienen una mejor resistencia a la fatiga, una mayor rigidez, una adecuada relación resistencia peso, y una alta resistencia del compuesto tanto a temperatura ambiente como a una temperatura elevada. Dentro de las fibras más usadas se tienen las fibras de vidrio, de boro y de carbono. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras que soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. El arreglo de las fibras puede cambiarse formando hebras, que son fibras en tramos cortos (Máx. 1 cm.); esferas, definidas como fibras largas y continuas orientadas aleatoriamente y sujetas con una resina; y cintas, que son fibras orientadas en forma unidireccional. Por otro lado la conformación de las fibras es a partir de hilos, constituidos por 10000 filamentos; mecha, conformada hasta por 10000 filamentos sin retorcer; e hilados, que son paquetes de filamentos, de hilos o de mechas sin retorcer.



Figura 2.4 Fibra de arámida para refuerzo de cordaje y cable.

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/teijin-aramid/fibras-de-aramida-para-el-refuerzo-de-cordaje-y-cable-18087-99050.html>

Laminares.- Incluyen recubrimientos delgados, superficies protectoras, revestimientos metálicos, bimetálicos y laminados. Algunos compuestos reforzados por fibras producidos a partir de cintas pueden ser considerados como parcialmente laminares. Una gran cantidad de materiales compuestos laminares están diseñados para mejorar la resistencia a la corrosión y conservar un bajo costo, una alta resistencia y un bajo peso. Otras características importantes son una resistencia superior al desgaste o a la abrasión, una mejor apariencia estética y algunas características de expansión térmica poco usuales. [1][SÁNCHEZ, 2010]



Figura 2.5 Laminado de fibras de carbono.

Fuente: <http://www.ehu.es/zorrilla/juanma/automovil/carbono.htm>

2.4.1.2 Materiales compuestos de matriz metálica.

Estos materiales se fabrican con una aspersión del material de la matriz con plasma sobre las fibras tendidas en forma adecuada, con métodos de infiltración de líquido, con deposición física de vapor, con prensado en caliente, con colado forzado y con otros métodos. Los materiales reforzados tienen buenas posibilidades en alta temperatura, buenas propiedades transversales y resistencia razonable a la compresión y cortante, en parte a una combinación de buena resistencia y tenacidad de la matriz metálica, y buena liga interfacial. [5][SCHAFFER, 2000]

En General los materiales de matriz metálica son una clase de material con potencial para una amplia variedad de aplicaciones estructurales y técnicas. A diferencia de los materiales de matriz de resina, no son inflamables, no fugan en el

vacío, sufren ataques mínimos por fluidos orgánicos, como combustibles y solventes, y tienen alta resistencia a la corrosión.

El principio es incorporar una segunda fase de alto desempeño en metales convencionales con la finalidad de producir una combinación de propiedades que no se tiene en los componentes individuales. En un material de matriz metálica, la fase continua, o matriz, es una aleación monolítica, y el refuerzo puede constituir del 10 al 60% del volumen del material.

Las características sobresalientes de los metales como matrices se manifiestan de muchas maneras; en particular, una matriz de metal le da al material una naturaleza metálica en términos de conductividad térmica y eléctrica, operaciones de manufactura e interacción del ambiente. La matriz domina las propiedades mecánicas como los módulos elásticos transversales y la fuerza de los materiales reforzados en forma unidireccional. [1][SÁNCHEZ, 2010]

Materiales compuestos de matriz de aluminio.

La mayoría de trabajo comercial en materiales de matriz metálica se ha enfocado en el aluminio como matriz metálica. La combinación de peso ligero, resistencia al ambiente y propiedades mecánicas útiles han hecho muy populares a las aleaciones de aluminio; estas propiedades también hacen al aluminio idóneo para el uso como matriz metálica. El punto de fusión del aluminio es bastante alto para satisfacer muchos requerimientos de aplicación y bastante bajo para volver razonablemente conveniente el proceso de fabricación del material.

Además, el aluminio puede aceptar una variedad de agentes reforzantes, incluso fibras de boro, Al_2O_3 , SiC, grafito en forma de partículas y fibras pequeñas continuas. [1][SÁNCHEZ, 2010]

Series de aluminios según sus aleantes.

Las aleaciones de aluminio (tanto las forjadas como las moldeadas) se clasifican en función del elemento aleante usado (al menos el que esté en mayor proporción). Los elementos aleantes más usados son: [7][ÓRTOLA,2009]

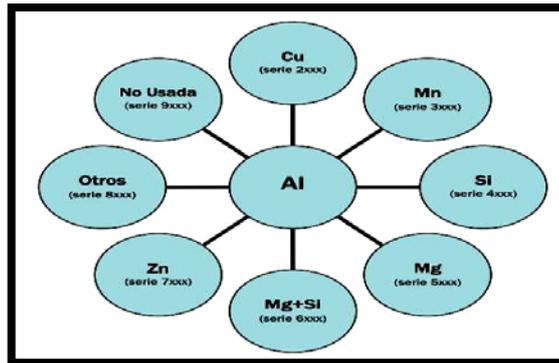


Figura 2.6 Elementos aleantes usados en las aleaciones de aluminio

Fuente: <http://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>

Aleaciones binarias para forja Aluminio Silicio (Al-Si)

Serie 4xxx. En esta serie el principal elemento aleante es el Si que suele añadirse en cantidades medianamente elevadas (por encima del 12%) para conseguir una bajada del rango de fusión de la aleación. El objetivo es conseguir una aleación que funda a una temperatura más baja que el resto de aleaciones de aluminio para usarlo como elemento de soldadura. Estas aleaciones en principio no son tratables térmicamente pero si son usadas en soldadura para soldar otras aleaciones que son tratables térmicamente parte de los elementos aleantes de las aleaciones tratables térmicamente pasan a la serie 4xxx y convierten una parte de la aleación en tratable térmicamente. Las aleaciones con un elevado nivel de Si tienen un rango de colores que van desde el gris oscuro al color carbón y por ello están siendo demandadas en aplicaciones arquitectónicas.

La aleación 4032 tiene un bajo coeficiente de expansión térmica y una alta resistencia al desgaste lo que la hace bien situada para su uso en la fabricación de pistones de motores. [7][ÓRTOLA,2009]

Nomenclatura AA	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Otros		Aluminio
										Cada uno	Total	
4032	11.0-13.5	1.00	0.50 - 1.30	-	0.80 - 1.30	0.1	0.50 - 1.30	0.25	-	0.05	0.15	El resto
4043	4.5 - 6.0	0.80	0.3	0.05	0.05	-	-	0.10	0.2	0.05	0.15	El resto
4047	11.0 - 13.0	0.80	0.30	0.15	0.1	-	-	0.20	-	0.05	0.15	El resto

Figura 2.7 Composición Química de las principales aleaciones de aluminio de la serie 4XXX.

Fuente: Horward, C. (1992). *Manual de soldadura*. (Edición en Español, Vol. II) México.

Aleaciones binarias para fundición Aluminio – Silicio (Al-Si)

Aleaciones 4XX.0: Éstas son principalmente aleaciones binarias de aluminio-silicio que se clasifican en: (a) aleaciones eutécticas e hipoeutécticas (<12%Si) y (b) hipereutécticas (>12%Si). Estos materiales presentan gran resistencia a la corrosión, buena soldabilidad y baja densidad específica, pero ofrecen cierta dificultad para el maquinado. [8] [BARRAND, 1969]

Aleaciones Eutécticas E Hipoeutécticas. Las aleaciones 413,443 y 444 son las aleaciones binarias de aluminio importantes. La aleación 443 (5.3%Si, aleación hipoeutéctica) puede utilizarse en todos los procesos de moldeo de piezas que requieren buena ductilidad, resistencia a la corrosión y estanqueidad a la presión considerada como más importante que la resistencia mecánica. Las aleaciones 413 y A413 (12%Si, aleación eutéctica) para fundición en matriz también presentan buena resistencia a la corrosión, y son mejores que la aleación 443 en términos de moldeabilidad y estanqueidad a la presión.

La aleación A444 (7%Si-0.2%Fe máx.) tiene buena resistencia a la corrosión y, especialmente, gran ductilidad cuando se vacía en molde permanente y se trata térmicamente a la condición T4. También se selecciona cuando la resistencia al impacto es una consideración primordial.

La aleación A332 (A332) muestra el siguiente contenido en su estructura 12% Si, 0.8% Cu, 1.2%Mg, 2.5% Ni. [9][VARIOS, 2004]

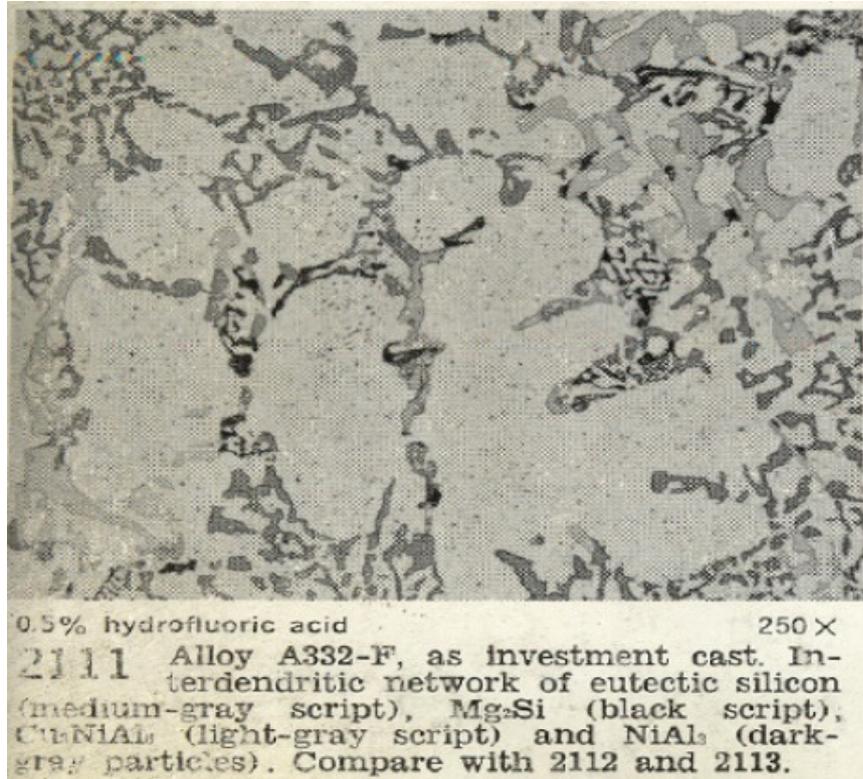


Figura 2.8 Microestructura de la aleación Fundición de aluminio A312 - F. Red interdendrítica de silicio eutéctico (Medio gris de la escritura), Mg₂Si (Guión Negro), CuNiAl₈ (Guión gris claro), NiAl₃ (partículas de color gris oscuro).

Fuente: Varios. (2004). *Microstructure of Aluminum Alloys*. Metals Handbook. (Vol. VII).

Aleaciones hipereutécticas. Estas aleaciones binarias de aluminio-silicio tienen notable resistencia al desgaste, menor coeficiente de expansión térmica y buenas características de moldeo. Se han utilizado en Europa durante años para fabricar pistones y en aplicaciones similares a alta temperatura. En Estados Unidos, se han empleado aleaciones como la 393 (22%Si-2.3%Ni-1%Mg-0.1%V) en aplicaciones similares desde hace mucho tiempo. [8][BARRAND, 1969]

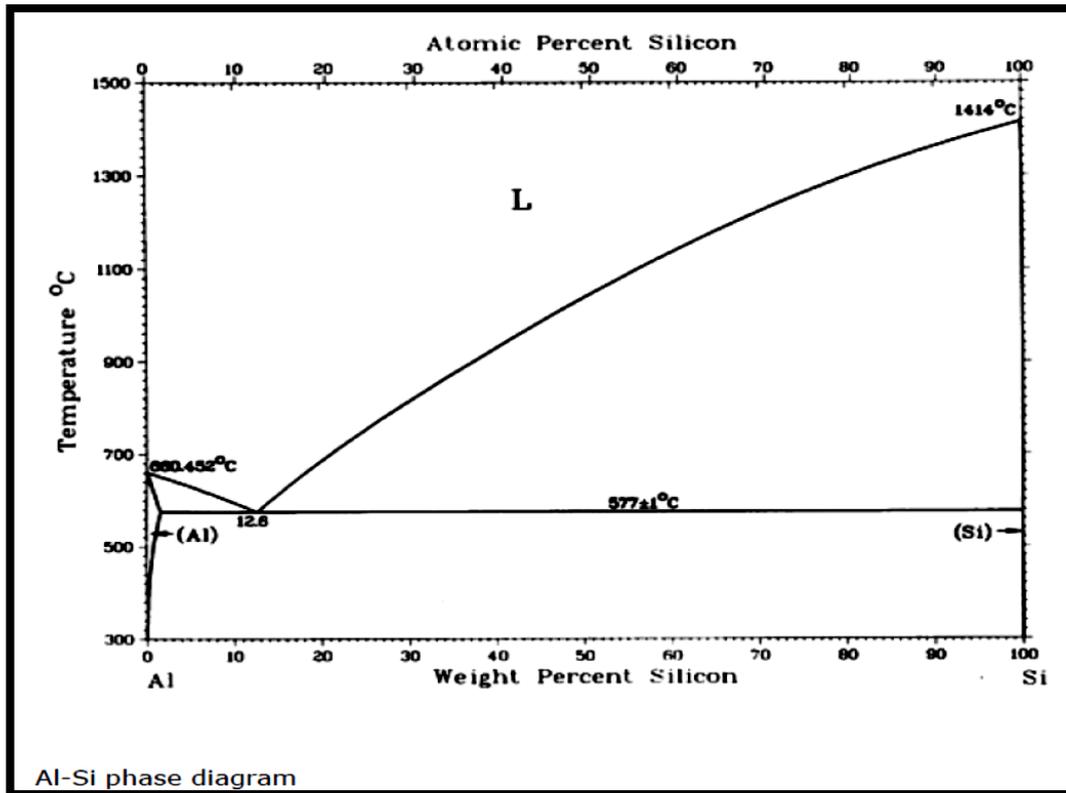


Figura 2.9 Diagrama de fase aleación Aluminio – Silicio.

Fuente: Varios. (1992). ASM Handbook for Allow Phase Diagrams. (Vol III).

Carburo de silicio discontinuo en matrices base aluminio.

Es una designación que incluye materiales con partículas de SiC, nódulos, hojuelas o escamas y plaquetas o fibras pequeñas en una matriz de aluminio. En la actualidad, varias compañías están involucradas en el desarrollo de la metalurgia de polvos de SiC/Al, y usan partículas o filamentos como la fase de refuerzo. Se cuenta con una tecnología de vaciado para este tipo de materiales, y los lingotes producidos por fundición pueden fabricarse de cualquier forma: Productos extruidos, lingotes u hojas roladas para procesos posteriores. Arsenault y Wu (1998) Compararon la metalurgia de polvos y los materiales de SiC/Al discontinuo, producidos por fundición, para determinar si existe una correlación entre la fuerza y el tipo de proceso. Encontraron que si el tamaño, la fracción de volumen, la distribución de refuerzo y la rigidez con la matriz son los mismos, entonces las propiedades de las piezas obtenidas son los mismos, entonces las

propiedades de las piezas obtenidas por metalurgia de polvos y fundición son las mismas. [1][SANCHEZ, 2010]

Técnicas de fabricación de materiales compuestos de matriz metálica.

Los métodos de fabricación de materiales compuestos de matriz metálica están divididos en dos categorías: Primaria y secundaria. El proceso primario es la operación por la que el material es sinterizado a partir de materia prima; esto incluye la introducción del refuerzo dentro de la matriz, en la ubicación y cantidad apropiadas y la obtención de propiedades de unión de los componentes. El proceso secundario consiste en todos los pasos adicionales necesarios para convertir el componente primario en un material terminado.

Las técnicas del proceso de fundición, unión de estado sólido y deposición de la matriz han sido utilizadas en las categorías primarias para fabricar los materiales de matriz metálica.

El proceso de fundición ofrece la capacidad de manufactura de producción en serie.

El proceso secundario apropiado para un material compuesto de matriz metálica depende mucho de cuál sea el refuerzo continuo o discontinuo. Los materiales de matriz metálica reforzados discontinuamente pueden aplicarse múltiples operaciones de conformado comunes en los metales, incluso en la extrusión, el estampado y la forja. Un alto porcentaje de refuerzos discontinuos utilizados en los materiales son los óxidos o los carburos. [1][SANCHEZ, 2010]

La influencia de la intercara en las propiedades finales del material compuesto es elevada, ya que a través de ella se produce un intercambio de la carga desde la matriz hacia el refuerzo. La intercara debe ser lo suficientemente resistente para que dicho intercambio sea efectivo, y para ello se debe cumplir que exista una buena mojabilidad entre matriz y refuerzo durante su proceso de fabricación, así como la ausencia de productos de reacción que se puedan generar durante la etapa de fabricación del material y que disminuyen las propiedades mecánicas de la intercara. Durante la fabricación del material compuesto, cuando la matriz se

encuentra en estado líquido, existen dos tipos de interacciones con el refuerzo que se encuentra en estado sólido:

- Interacción de tipo físico: es la mojabilidad existente entre el medio líquido y el medio sólido. Bajos ángulos de mojado conducen a un contacto íntimo entre ambos medios, que facilitarán la continuidad de materia en el material compuesto una vez fabricado, así como la existencia de la adhesión necesaria entre matriz y refuerzo.
 - Interacción de tipo químico: es la formación de enlaces químicos entre átomos del refuerzo y de la matriz. Este tipo de interacción es el que genera la mayor energía de unión entre la matriz y el refuerzo.
- [10][DHINDAW, 2001]

2.4.1.3 Fundición de materiales compuestos de matriz metálica

En el pasado, las partículas de cerámica en los metales y aleaciones fueron consideradas inclusiones que empeoraban la resistencia y ductilidad del material.

A mediados de los años sesenta, en aleaciones de aluminio se incorporaron polvos de níquel y grafito (como revestimiento), inyectados junto con gas argón en la aleación fundida; esto marca el inicio de la fundición de materiales de matriz metálica.

En la Universidad de Roorkee se diseñó un equipo para vaciado de cima; con este proceso se tenía una agitación continua que favorecía la dispersión de las partículas. Los procesos en los que las partículas están dispersadas en un líquido o en una aleación semisólida se denominan **procesos de dispersión**, y el proceso en el que el contenido de las partículas se encuentra especificado se conoce como **proceso limitado**. La fundición convencional de una aleación con partículas dispersas requiere suficiente fluidez, y la ventaja de este proceso es que los materiales pueden manufacturarse con infraestructura de fundiciones convencionales. La fundición por proceso limitado consiste en una aleación o metal fundido impregnado de una cama de partículas; la impregnación se efectúa

mediante cuatro procesos: Proceso de dispersión, infiltración por presión, proceso lanxide y proceso spray.

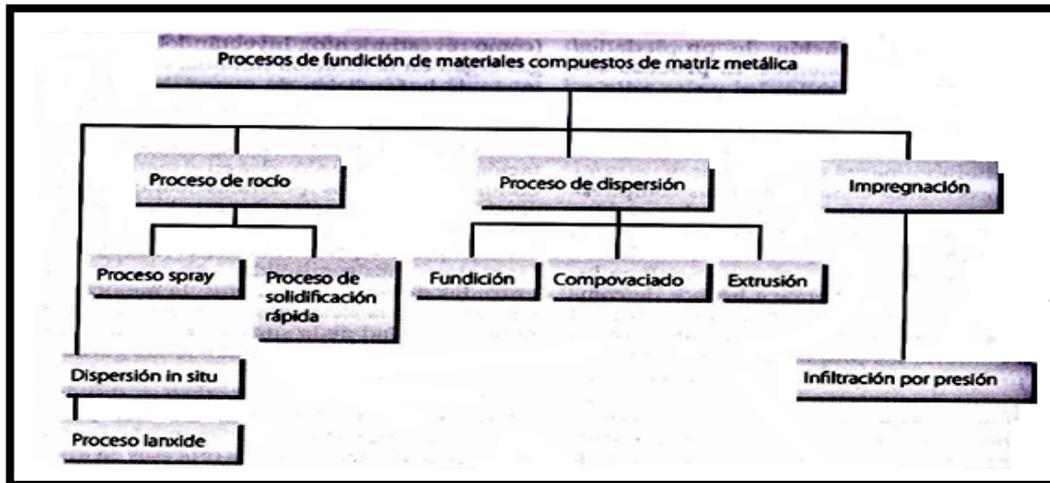


Figura 2.10 Procesos de fundición de materiales compuestos de matriz metálica

Fuente: Sánchez, M., Campos, I. (2010). *Tecnología de Materiales*. (Primera edición ed.). México

Procesos de dispersión

El proceso en estado líquido más utilizado es el proceso metal-liquido y mezclado de partículas. La utilización de esta vía esta favorecida por las bajas temperaturas de fusión de las aleaciones de aluminio. La forma en que las partículas son incorporadas a la matriz y mezcladas puede ser diversa:

- Inyección de partículas en el metal fundido mediante pistola de inyección utilizando un gas inerte como argón como medio de transporte.
- Introducción de partículas en el metal fundido mediante la generación de un vórtice en el metal mediante la agitación mecánica.
- Introducción de aglomerados de partículas de refuerzo y partículas de matriz metálica en el baño fundido de la matriz, seguido de agitación.
- Dispersión de las partículas al metal fundido mediante ultrasonidos.
- Procesos de gravedad cero mediante la utilización de ultra-alto vacío y altas temperaturas durante largo periodo de tiempo.

Mediante este proceso independientemente de la forma en la que las partículas son añadidas a la matriz fundida, se genera una unión fuerte entre la matriz y el refuerzo.

La agitación durante el proceso de incorporación de partículas es esencial para su correcta distribución en la matriz y para la eliminación de posibles capas absorbidas en la superficie de partículas que dificultarán la unión interfacial.

Habitualmente las partículas incorporan un tratamiento térmico que mejore la mojabilidad con la matriz y controle la reactividad. [11][ROHATGI, 1986]

En la mezcla metal – cerámica, la aleación está en estado totalmente fundido cuando el agente humectante y las partículas se agitan dentro de ella. El agente humectante no se necesita cuando las partículas son humedecidas en forma natural por la aleación o tienen una cubierta humectante. El proceso de transferencia de partícula a la aleación fundida ha sido analizado, y el ángulo de humectabilidad desempeña un papel crítico.

En la compocolada, la aleación está en estado semisólido cuando las partículas son agitadas dentro de ella y, en todos los otros aspectos, ambos procesos (Vórtice y compocolada) son idénticos. Para un aparato experimental dado, las variables del proceso son:

- La posición del agitador
- El tamaño del agitador
- La velocidad de agitación

Es posible agitar aleaciones líquidas sin agitador o semisólidas sin un agitador, y en fechas recientes, la compañía Ajax ha desarrollado un proceso que involucra la mezcla de partículas reforzantes dentro de la aleación fundida bajo condiciones de agitación magnetohidrodinámica, seguido de vaciado en molde metálico directo de la mezcla pastosa. [1][SÁNCHEZ, 2010]

2.4.1.4 Solidificación de los materiales compuestos

La fabricación de materiales compuestos involucra la solidificación, y de esta dependerá la homogeneidad y las propiedades de la pieza colada, por lo que debemos conocer y controlar ciertos parámetros, como el tiempo de solidificación, la velocidad de solidificación, los gradientes térmicos durante el enfriamiento y los defectos que pueden producir. Los materiales de matriz metálica convienen lograr un tamaño de grano tan pequeño como sea posible, ya que un tamaño de grano pequeño mejora las propiedades de la matriz, se necesita que el material de refuerzo quede lo más homogéneamente distribuido en la matriz para que las propiedades sean uniformes.

Cuando se dispersan partículas sólidas en un metal líquido, puede ocurrir dos tipos de interacción: una interacción hidradinámica entre el líquido y las partículas, y una interacción no hidradinámica entre las partículas mismas. Ambas interacciones inducen un incremento en la viscosidad aparente de la mezcla, un efecto que ha sido confirmado por varios estudios experimentales; estos muestran que las viscosidades aparentes de varios materiales son significativamente más altas que las viscosidades de aleaciones no reforzadas.

Cuando el material está en reposo, las diferencias de densidad entre la matriz y el refuerzo inducen el asentamiento o la flotación del refuerzo a una tasa que depende de la fracción del volumen local, la distribución de partículas en matriz metálica depende del movimiento de la misma.

La influencia ejercida por la microestructura de la matriz, sobre las propiedades mecánicas de los materiales compuestos de matriz metálica, depende en gran medida del proceso de solidificación, ya que este gobierna en gran parte la estructura final. [1][SÁNCHEZ, 2010]

2.4.1.5 Problemática en la fabricación y en la puesta en servicio de los materiales compuestos de matriz de aluminio y refuerzo cerámico.

El principal problema durante la fabricación del material compuesto consiste en la formación de carburo de aluminio como producto de la reacción que se produce entre la matriz líquida y el refuerzo cuando este se trata de SiC, según la reacción:



Este carburo de aluminio es especialmente perjudicial debido a varias razones:

Por un lado, se presenta con geometría en forma de aguja en la intercara del refuerzo y la matriz metálica de aluminio. Esto puede originar el fallo de dicha intercara cuando el material está sometido a tensiones de tracción, debido al efecto de concentración de tensiones.

Por otro lado, el carburo de aluminio posee carácter higroscópico, y el hidróxido de aluminio resultante cuando el material está en presencia de humedad genera la fragilización de la intercara.

Por estas razones, se debe evitar en todo lo posible la formación de este producto de reacción. Las estrategias para ello son fundamentalmente dos:

- Recubrir las partículas, previamente a la generación del material compuesto, mediante algún tipo de recubrimiento que impida o disminuya el contacto entre la matriz en estado líquido y las partículas de SiC durante la obtención del material compuesto.
- Utilizar matrices de aleación de aluminio con alto contenido en silicio, por ejemplo la serie A3xxx con 10% en peso de silicio aproximadamente. Esta elevada proporción de silicio consigue desplazar el equilibrio en la ecuación 2.1 anterior hacia la izquierda, evitando la formación de carburo de aluminio. Este método se suele combinar con el empleo de temperaturas para la fusión de la aleación de aluminio cercanas a las de

fusión. Así se impide favorecer termodinámicamente la reacción de formación de carburo. [12][CHAWLA, 1998]

2.4.2 Variable Dependiente: Propiedades Mecánicas de los Materiales.

2.4.2.1 Ensayo de Dureza.

Dureza es la medida de resistencia de un metal a la deformación permanente (plástica) en su superficie. La dureza de un material se mide forzando un penetrador sobre su superficie. El material del penetrador, que es usualmente una bola, pirámide o cono, está hecho de un material mucho más duro que el material bajo ensayo. El acero reforzado con carburo de tungsteno y el diamante son los materiales comúnmente utilizados como penetradores. Para la mayoría de ensayos de dureza se aplica lentamente una carga conocida presionando el penetrador a 90° en la superficie del material bajo ensayo.

Después de realizar la inclusión, se retira el penetrador de la superficie. Se calcula un valor de dureza empírica o se lee en una escala analógica (o pantalla digital), que se basa en el área de selección o en la profundidad de la impresión. [13][SMITH, 1999]

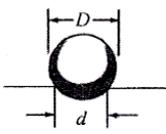
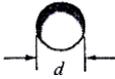
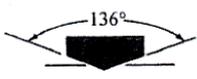
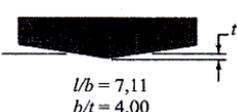
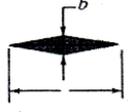
Forma de penetración					
Ensayo	Penetrador	Vista lateral	Vista en planta	Carga	Fórmula para el índice de dureza
Brinell	Esfera de 10 mm de acero o carburo de wolframio			P	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirámide de diamante			P	$VHN = \frac{1,72P}{d_1^2}$
Microdureza de Knoop	Pirámide de diamante			P	$KHN = \frac{14,2P}{l^2}$

Figura 2.11 ENSAYOS DE DUREZA

Fuente: Hayden, H., Moffat, W., & Wuff, J. (1965). *The Structure and Properties of Materials*. (Vol. III.) Wiley, 12.

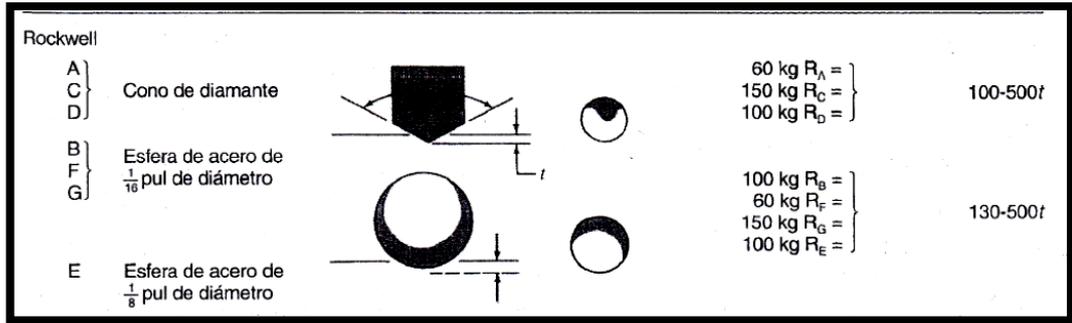


Figura 2.11 ENSAYOS DE DUREZA (Continuación...)

Fuente: Hayden, H., Moffat, W., & Wuff, J. (1965). *The Structure and Properties of Materials*. (Vol. III.) Wiley, 12.

La dureza de un metal depende de la facilidad con la que se deforma plásticamente. Por ello, para un metal particular, puede determinarse empíricamente una relación ente la dureza y la resistencia. [13][SMITH, 1999]

Dureza Rockwell (HR)

Usa una bola de acero de pequeñísimo diámetro, para materiales blandos, y un cono o indentador de diamante, para materiales más duros. La máquina de ensayo mide en forma automática la profundidad de penetración del indentador, lo cual se convierte en un número de dureza Rockwell. Como no se necesita una medición óptica de las mediciones de la penetración, el ensayo Rockwell tiende a ser más frecuente que el ensayo Brinell. [6][ASKELAND, 2009]



Figura 2.12 Máquina de ensayos de dureza. (Durómetro)

Fuente: Cortesía del Laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Tabla 2.2 Escalas de dureza Rockwell

Escala	Carga mayor (kg)	Tipo de indentador	Materiales comunes empleados
A	60	Cono de diamante	Materiales con alta dureza, tipo carburo tungsteno
B	100	Bola de 1/16"	Materiales de dureza media, aceros al carbono y aleaciones no ferrosas.
C	150	Cono de diamante	Aceros templados, aleaciones revenidas (tratamiento térmico).
D	100	Cono de diamante	Aceros tratados termoquímicamente
E	100	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de magnesio y aluminio
F	60	Bola de 1/16"	Bronce y cobre
G	150	Bola de 1/16"	Aleaciones de cobre
H	60	Bola de 1/8"	Placa de aluminio
K	150	Bola de 1/8"	Hierro fundido, aleaciones de aluminio
L	60	Bola de 1/4"	Plásticos y metales suaves
M	100	Bola de 1/4"	Igual a la escala L
P	150	Bola de 1/4"	Igual a la escala L
R	60	Bola de 1/2"	Igual a la escala L
S	100	Bola de 1/2"	Igual a la escala L
V	150	Bola de 1/2"	Igual a la escala L

Fuente: Sánchez, M., Campos, I. (2010). *Tecnología de Materiales*. (Primera edición ed.).

Dureza Brinell (BH)

El ensayo de dureza Brinell consiste en indentar la superficie de un metal con una bola de acero de 10mm de diámetro y una carga de 3000Kg. Para materiales suaves, la carga se reduce a 500 Kg, y para materiales sumamente duros se recomienda utilizar una bola de carburo de tungsteno para minimizar la distorsión del indentador.

La carga se aplica en un tiempo estándar usualmente de 30s, y el diámetro de la indentación se mide con un macroscopio de baja.



Figura 2.13 Macroscopio de alcance óptico de baja para Dureza Brinell.

Fuente: Cortesía del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

El promedio de las dos lecturas del diámetro de la impresión en ángulos rectos debe realizarse; aquí es importante contemplar que la superficie debe estar libre de impurezas y completamente paralela respecto de la orientación del indentador.
[1][SÁNCHEZ, 2010]

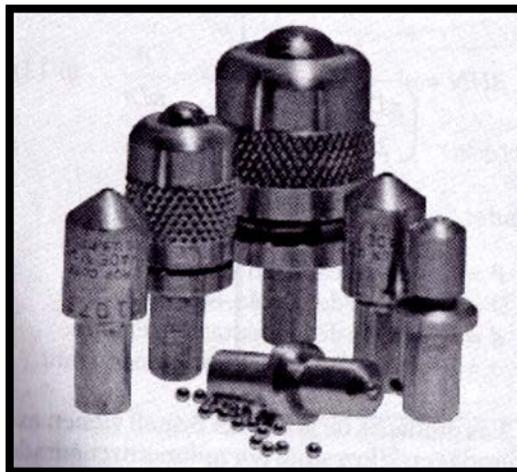


Figura 2.14 Identadores Empleados para DUREZA BRINELL.

Fuente: Sánchez, M., Campos, I. (2010). Tecnología de Materiales. (Primera edición ed.). México: Editorial Trillas.

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

$$HB = \frac{P}{\pi Dt} \quad (2.2)$$

Donde:

P = Carga aplicada, en Kg.

D = Diámetro de la bola, en mm.

d = Diámetro de la indentación, en mm.

t = Profundidad de la impresión, en mm.

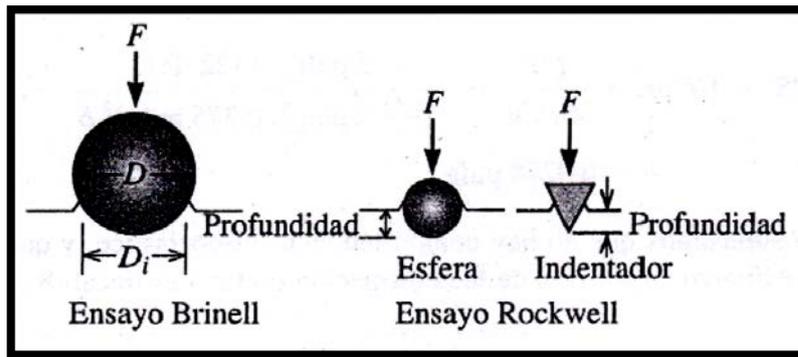


Figura 2.15 Penetrador para los ensayos de dureza Rockwell y Brinell.

Fuente: Askeland, D. (2009). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. (Cuarta edición ed.). México: Cengage Learning Editores.

2.4.2.2 Ensayo de Tracción.

Una prueba de tensión, o prueba de tracción, es para medir en forma cuantitativa algunas de las propiedades mecánicas clave de los materiales estructurales.

Históricamente esta prueba se desarrolló y normalizó para metales, pero se aplican los mismos principios para polímeros, cerámicas y materiales compuestos; sin embargo, el procedimiento varía algo para las distintas clases de materiales. [6][ASKELAND, 2009]



Figura 2.16 Máquina para ensayos de tracción.

Fuente: Cortesía del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato.

El ensayo de tensión está muy difundido, porque las propiedades que se obtienen pueden aplicarse en el diseño de distintos componentes. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente.

La muestra de la prueba de tensión se elonga gradualmente bajo tensión, mientras se registra la carga y la deformación en forma continua. Es preciso recordar que la curva de carga contra extensión obtenida de este modo es idéntica a una gráfica del esfuerzo de ingeniería contra la deformación de ingeniería.

La relación entre esfuerzo y deformación depende de la composición química, el tratamiento térmico y del método de fabricación. En materiales dúctiles como el aluminio que soportan deformaciones considerables antes de fallar, el esfuerzo de ingeniería en la fractura es inferior a la resistencia tensil, aunque el esfuerzo real (verdadero) en el cuello sea superior. En materiales quebradizos, como las aleaciones de aluminio de alta resistencia, hierro fundido, carburos, etc., no se produce formación de cuello. [14][ANDERSON, 2002]

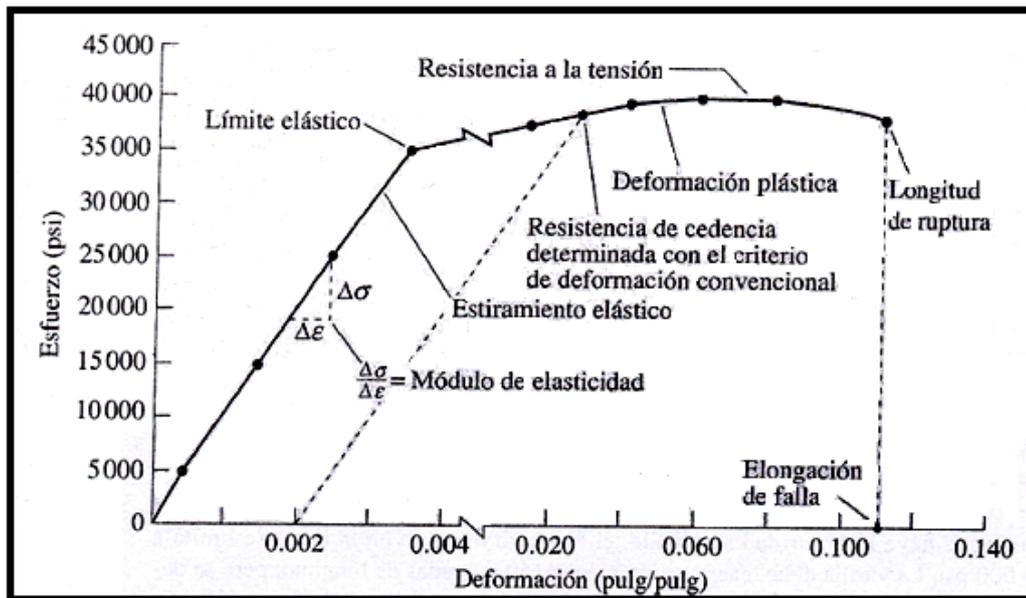


Figura 2.17 Curva esfuerzo ingenieril – deformación ingenieril para una aleación de aluminio.

Fuente: Askeland, D. (2009). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. (Cuarta edición ed.). México: Cengage Learning Editores.

Porcentaje de alargamiento.

La cantidad de elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de ductilidad de un metal. La ductilidad de los metales comúnmente se expresa como porcentaje de elongación.

El porcentaje de alargamiento de una probeta de metal dúctil de diámetro dado, depende del tramo de calibración a lo largo del cual se toman las mediciones. Se ha establecido por medio de muchos ensayos que el alargamiento es prácticamente constante para varias esas de varios tamaños, si las piezas son geoméricamente similares. Para las probetas cilíndricas de metales dúctiles la ASTM E8 exige un tramo de calibración de cuatro veces el diámetro.

El porcentaje de elongación puede calcularse por la ecuación:

$$\% \text{ elongación} = \frac{\text{longitud final} - \text{longitud inicial}}{\text{longitud inicial}} \times 100\%$$

$$\% E = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100\% \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Porcentaje de reducción de área.

Otra alternativa para entender el comportamiento de ductilidad en materiales es en porcentaje de reducción de área. Cuando finaliza en ensayo, se toma la medida de la zona donde se fracturó la pieza, y se confronta con el área de sección transversal original de la pieza. Usualmente, las piezas de sección transversal circular miden 0.50 in (12.7mm) de diámetro antes de ensayar. La relación del porcentaje de reducción de área (% R.A.) es: [1][SÁNCHEZ, 2010]

$$\% R.A. = \frac{\text{Área inicial} - \text{Área final}}{\text{Área inicial}} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100\% \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde A_f es el área final y A_0 es el área inicial.

Módulo de elasticidad o módulo de Young.

En la primera parte del ensayo de tensión el metal se deforma elásticamente. Esto es, si se elimina la carga sobre la muestra, volverá a su longitud inicial. Para metales la máxima deformación elástica es usualmente menor a 0.5%. En general los metales y aleaciones muestran una relación lineal entre la tensión y la deformación en la región elástica en un diagrama tensión-deformación que se describe mediante la ley de Hooke: [13][SMITH,1999]

$$\sigma(\text{esfuerzo}) = E\varepsilon(\text{deformación}) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

O

$$E = \frac{\sigma(\text{esfuerzo})}{\varepsilon(\text{deformación})} \quad (\text{Unidades en psi o Pa}) \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde E es el módulo de elasticidad o en módulo de Young. El modulo de elasticidad está relacionado con la fuerza de enlace de los átomos en un metal o aleación.

Límite Elástico o de Cedencia

El esfuerzo de fluencia, o de cedencia, es un parámetro mecánico muy importante, esencialmente para el diseño de ingeniería estructural, ya que es el esfuerzo donde el material muestra una deformación plástica significativa. En materiales

metálicos y poliméricos es difícil determinar por si solo donde existe un cambio entre la zona elástica y la zona plástica del material. Por esto y de acuerdo a la norma ASTM E-8, el esfuerzo de fluencia (S_t) se elige cuando ha tenido lugar 0.2% de deformación plástica. [1][SÁNCHEZ, 2010]

El límite elástico al 0,2%, también denominado esfuerzo de fluencia convencional a 0,2%, se determina a partir del diagrama de tensión-deformación, como se muestra en la figura 2.14. Primeramente, se dibuja la línea paralela a la parte elástica a una deformación igual a 0,002 plg/plg (mm/mm). Entonces en el punto donde la línea intercepta con la parte superior de la curva tensión deformación, se dibuja la línea horizontal hasta el eje de tensión.

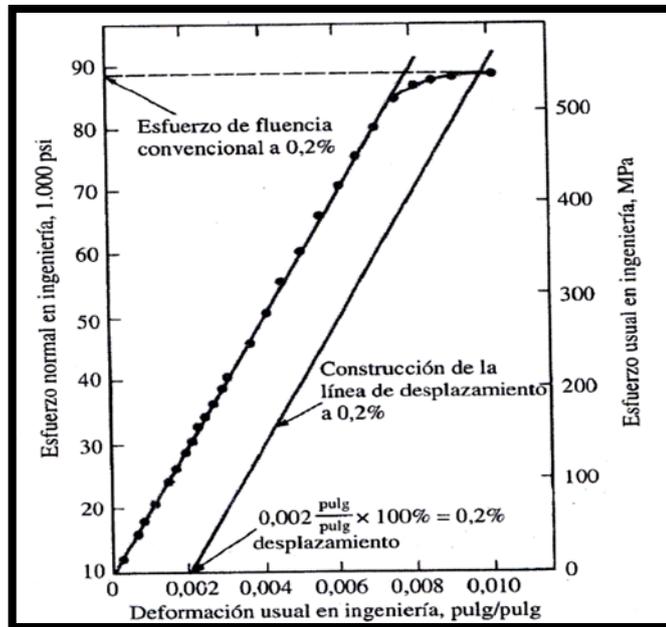


Figura 2.18 Diagrama tensión deformación expandido en el eje de deformación.

Fuente: Cortesía de Aluminum Company of América.

Resistencia máxima a la tracción. (Tensión)

La resistencia máxima a la tensión es la tensión máxima alcanzada en la curva de tensión-deformación. Si la muestra desarrolla muestra un crecimiento localizado en su sección, la tensión decrecerá al aumentar la deformación hasta que ocurra la fractura puesto que la tensión se determina usando la sección inicial de la muestra.

A mayor ductilidad del metal, mayor será el crecimiento en la tensión en la curva tensión-deformación después de la tensión máxima.

Un punto importante en los diagramas de tensión deformación es que el metal o la aleación continúan incrementando su tensión hasta la fractura. Es debido a que utilizamos el área de la sección para determinar la tensión.

La resistencia máxima a la tensión de un metal se determina dibujando una línea horizontal desde el punto máximo de la curva tensión-deformación hasta el eje de tensiones. La tensión a la que la línea intercepta al eje de tensión se denomina resistencia máxima a la tensión.

Requerimientos para los ensayos de tracción.

Para los metales, si una pieza es suficientemente gruesa puede obtenerse de tal manera que pueda ser fácilmente maquinada, se usa comúnmente una probeta redonda; para láminas y placas en almacenamiento se usa comúnmente la probeta plana. La porción central del tramo es usualmente de sección menor que en los extremos para que la falla ocurra en una sección donde los esfuerzos no resulten afectados por dispositivos de sujeción.

El tramo de sujeción es el tramo marcado sobre el cual se toman las mediciones de alargamiento o extensómetro.

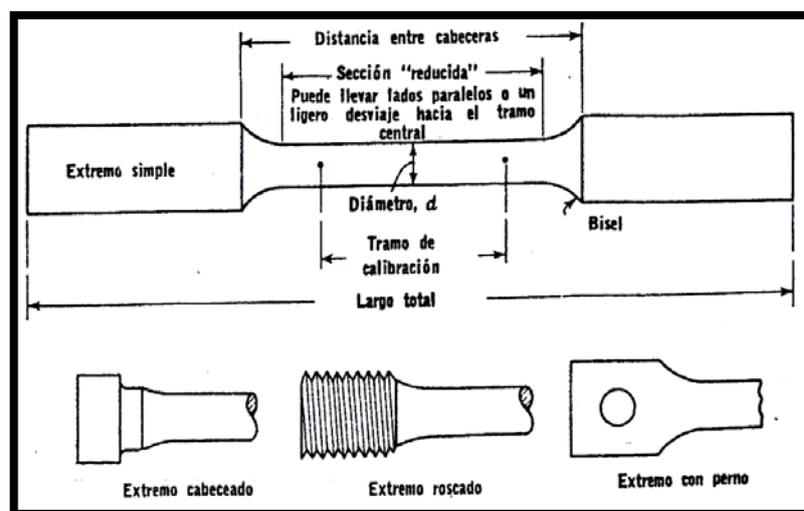


Figura 2.19 Probeta típica de tracción.

Fuente: Davis, H. *Ensaye e inspección de los materiales de ingeniería*.

La longitud de la sección reducida depende de la clase de material a ensayar y las mediciones a tomar. Con los metales dúctiles, para los cuales el alargamiento o reducción del área hayan de determinarse, la longitud debe ser suficiente para permitir una ruptura normal, es decir, el estiramiento la estricción no deben ser inhibidos por la masa de los extremos. Para materiales dúctiles para los cuales el estiramiento es muy pequeño y no se mide, y para los cuales la fractura es plana, la longitud de la sección reducida puede ser relativamente corta. [15][DAVIS, 1982]

Probetas estándar

La probeta de sección redonda para metales dúctiles ASTM estándar mostrada en la figura 2.18(a) frecuentemente se hace de 0.505 plg. de diámetro para tener un área seccional exactamente de 0.2 plg². Pueden utilizarse probetas más pequeñas, siempre y cuando el tramo de calibración sea cuatro veces el diámetro de la probeta. [15][DAVIS, 1982]

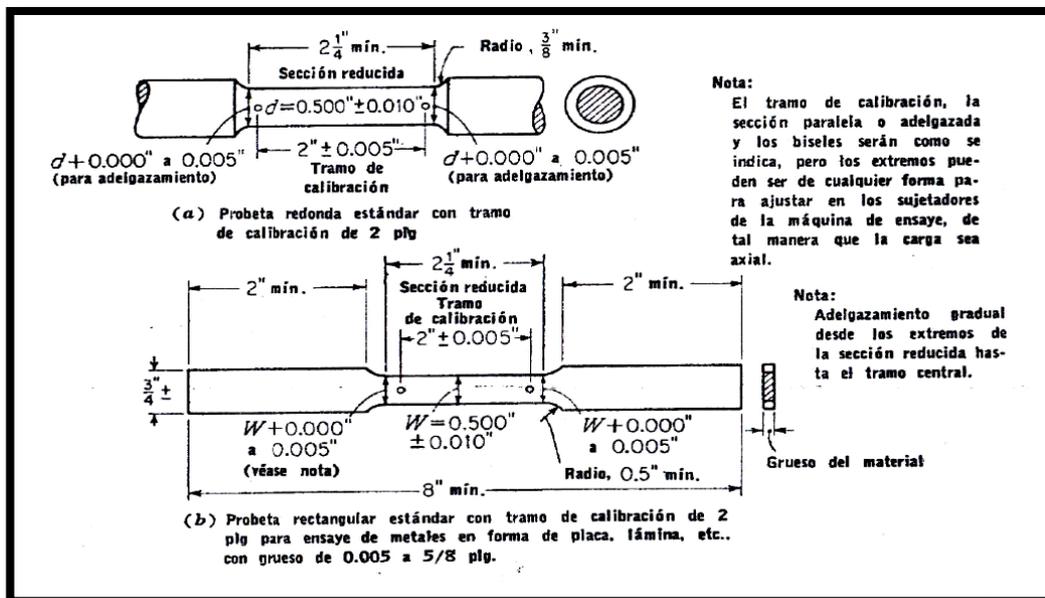


Figura 2.20 Formas normalizadas según la ASTM de probetas para ensayos de metal (dúctil).

Fuente: Davis, H., & Otros. Ensaye e inspección de los materiales de ingeniería.

2.4.2.3 Ensayo de Impacto.

Una carga de impacto que produzca esfuerzo depende de la energía utilizada para causar deformación en el material. La mayoría de ensayos para determinar las características de absorción energética de los materiales bajo cargas de impacto, el objeto es utilizar la energía del golpe para causar ruptura de la probeta. Así mismo la TENACIDAD es una medida de la energía que un material puede absorber antes de fracturarse. Se convierte en una determinación importante en ingeniería cuando se considera la capacidad de un material para resistir un cierto impacto sin ser fracturado, y depende principalmente de la resistencia y la ductilidad, y parece ser independiente del tipo de carga.[1][SÁNCHEZ, 2010]

Ensayo Charpy para metales y plásticos.

El péndulo consiste en una barra relativamente ligera, aunque no rígida, o sección I en el extremo de la cual hay un pesado disco. El péndulo está suspendido de una flecha corta que gira en rodamientos de balines y se balancea hasta la mitad de la distancia entre dos postes verticales, cerca de cuya base están los soportes o yunques de las probetas.

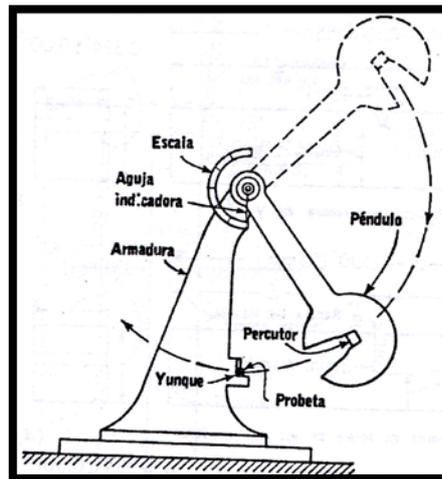


Figura 2.21 Diagrama de la máquina de ensayo Charpy.

Fuente: Davis, H., & Otros. *Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería.*

La probeta estándar para ensayos de flexión es una pieza de 10 x 10 x 55mm ranurada como se muestra en la figura 2.18 (ASTM E23). Otros tamaños se usan en casos especiales.

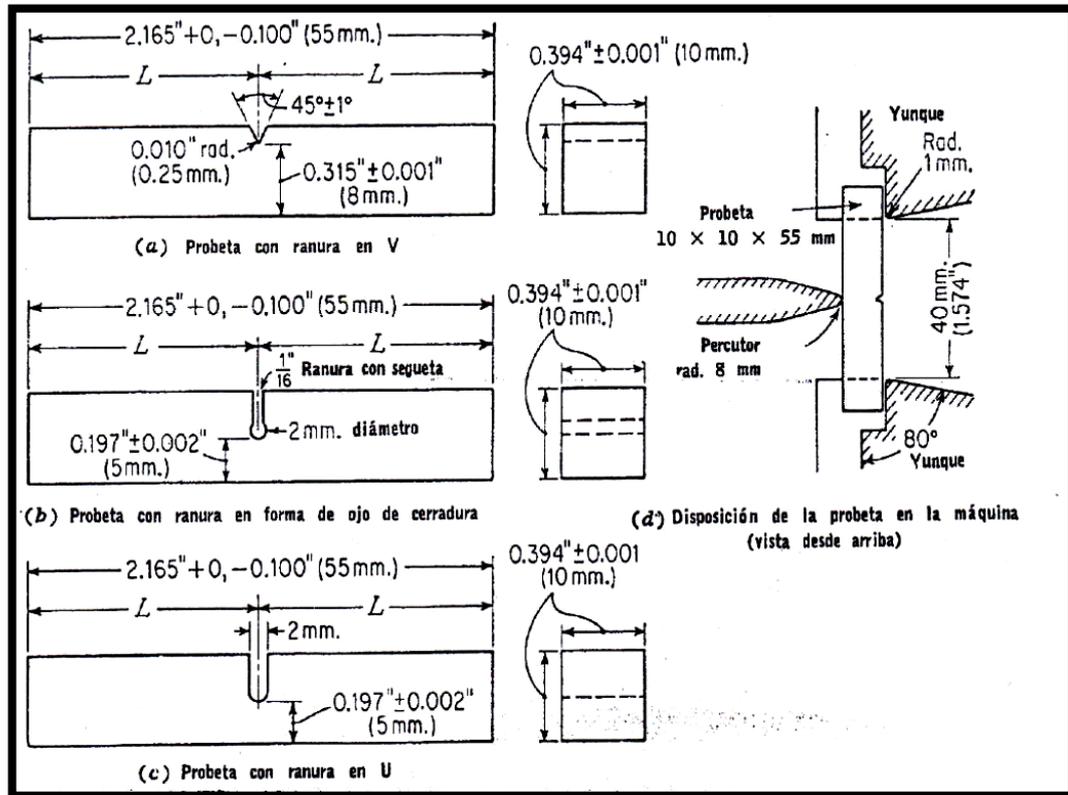


Figura 2.22 Probetas Charpy

Fuente: Davis, H., & Otros. *Ensaye e inspección de los materiales de ingeniería*.

La probeta, la cual se carga como una viga simple, se coloca horizontalmente entre los dos yunques como se muestra en la figura 2.18d, de modo que el percutor golpee el lado opuesto de la ranura a la mitad del claro. El péndulo es elevado a su posición más alta y sostenido por un tope ajustado para dar una altura de caída constante para todos los ensayos al cual se le suelta permitiéndole caer y fracturar la probeta.

En su movimiento ascendente el péndulo lleva el indicador de fricción sobre una escala semicircular graduada en grados o libras-pie. La energía requerida para fracturar la probeta es una función del ángulo de elevación. El peso del péndulo, la posición del centro de gravedad y la altura de la caída de determinan todos experimentalmente. [15][DAVIS, 1982]

2.5 HIPÓTESIS

H₀: Reforzar con partículas de carburo de silicio en la aleación de aluminio 4032 no variará la dureza, resistencia y tenacidad.

H₁: Reforzar con partículas de carburo de silicio en la aleación de aluminio 4032 variará la dureza, resistencia y tenacidad.

2.5.1 Unidades de observación

- Probetas de aleación de aluminio 4032 fundida sin refuerzo de partículas de carburo de silicio.
- Probetas de aleación de aluminio 4032 fundida con refuerzo de partículas de carburo de silicio.
- Probetas para análisis metalográfico.
- Probetas para ensayo de tracción.
- Probetas para ensayo de dureza.
- Probetas para ensayo de tenacidad (Charpy).
- Porcentaje volumétrico de refuerzo en la aleación.

2.5.2 Señalamiento de variables de la hipótesis.

Variable Independiente.-Reforzar con partículas de carburo de silicio la aleación 4032.

Variable dependiente.- Dureza, Resistencia, Tenacidad.

2.5.3 Término de relación

Variará.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA.

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación será de carácter experimental de laboratorio y bibliográfica ya que se observarán los efectos que tendrá el reforzamiento en las variables del comportamiento mecánico. Se observará los efectos que las variables independientes generan en las dependientes con el propósito de precisar la relación causa-efecto. Así mismo se buscará fomentar la tecnología e interés por los materiales compuestos de matriz metálica con refuerzo discontinuo.

3.2 NIVEL O TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación será de tipo exploratoria ya que se reconocerá las variables de interés investigativo y se sondeará el problema para adquirir conocimiento acerca de las variables de investigación y posteriormente profundizar con bases establecidas.

La investigación será descriptiva ya que se analizará las variables de investigación, se distribuirá los datos aisladamente y se comparará entre los fenómenos encontrados.

La investigación será de tipo correlacional ya que se evaluará el comportamiento de las variables en función de las variaciones experimentadas en las mismas.

La investigación será de estudio de casos, los mismos que para este efecto se selecciona al azar y se han tomado en cuenta seis.

CASO 1:

Aluminio 4032 obtenido de pistones reciclados fundidos sin escorificar ni desgasificar y colado en arena. 0% de refuerzo con partículas de carburo de silicio.

CASO 2:

Aluminio 4032 obtenido de pistones reciclados fundido, escorificado, desgasificado y colado en arena. 0% de refuerzo con partículas de carburo de silicio.

CASO 3

Aluminio 4032 obtenido de pistones reciclados fundido, escorificado, desgasificado y colado en arena. 2% de refuerzo con partículas de carburo de silicio de 25.8 micras.

CASO 4

Aluminio 4032 obtenido de pistones reciclados fundido, escorificado, desgasificado y colado en arena. 3% de refuerzo con partículas de carburo de silicio de 25.8 micras.

CASO 5

Aluminio 4032 obtenido de pistones reciclados fundido, escorificado, desgasificado y colado en arena. 4% de refuerzo con partículas de carburo de silicio de 25.8 micras.

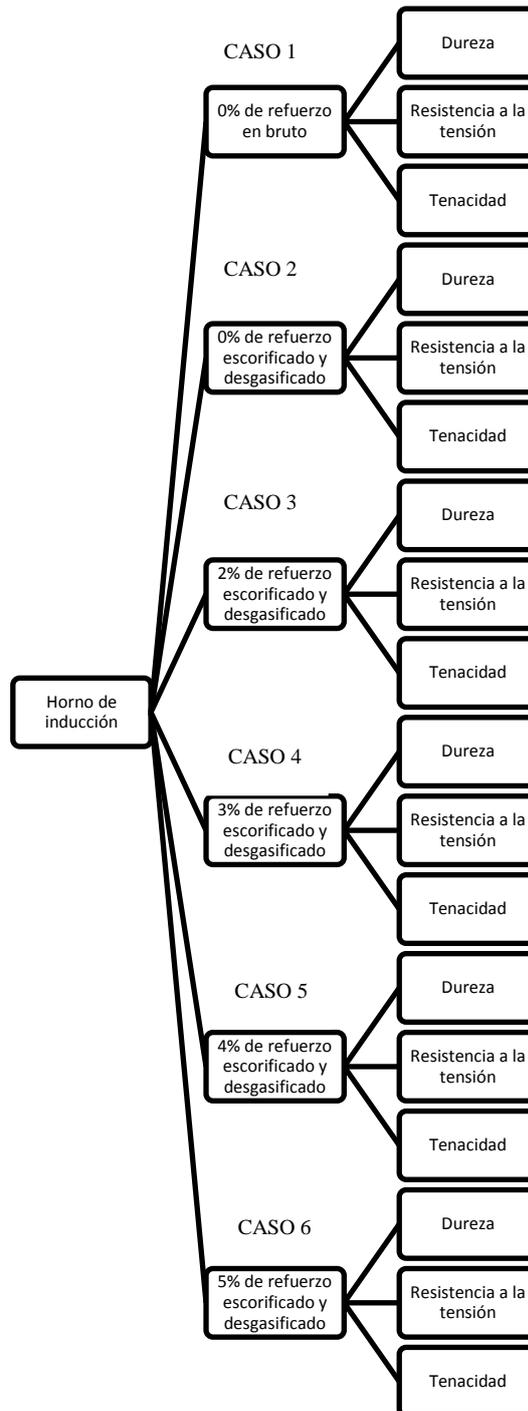
CASO 6

Aluminio 4032 obtenido de pistones reciclados fundido, escorificado, desgasificado y colado en arena. 5% de refuerzo con partículas de carburo de silicio de 25.8 micras.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.

POBLACIÓN

Para la población se tomo en cuenta lingotes cilíndricos obtenidos de la fundición de pistones automotrices de aleación de aluminio 4032 reforzados con partículas de carburo de silicio como se muestra a continuación:



Los 6 casos fueron sometidos a los siguientes ensayos:

Ensayo de Tracción: Según ASTM E8:00b y ASTM E111:97

Ensayo Metalográfico: Según ASTM E3:95 y ASTM E112:96

Ensayo de Dureza: Según ASTM E10:01

Ensayo de Impacto: Según ASTM E23:01

MUESTRA:

6 Probetas cilíndricas de 20 mm de diámetro por 20 mm de largo para los ensayos de dureza y metalográficos.

30 Probetas para el ensayo de tracción de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM E8:00b. Figura 9. Espécimen 1. (Ver Anexo B.1.)

30 Probetas para el ensayo de impacto de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM E23:01. Figura 1. Espécimen Tipo A. (Ver Anexo B.6.)

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

3.4.1 Variable independiente:

Reforzar con partículas de carburo de silicio en la aleación de aluminio 4032.

LO ABSTRACTO		LO OPERATIVO		
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Reforzar con partículas de carburo de silicio en la aleación de aluminio 4032 se logra por la mezcla metal-cerámica, la aleación está totalmente fundida cuando las partículas se agregan y se agitan dentro de ella.	Fundición de la aleación	¿En qué horno se llevará a cabo la fundición?	Horno de inducción.	Observación Ficha de observación
	Agregado de partículas	¿Qué porcentaje de partículas se agregará a la aleación?	0% Sin limpieza de escoria. 0% Escorificado y Desgasificado. 2% Escorificado y Desgasificado. 3% Escorificado y Desgasificado. 4% Escorificado y Desgasificado. 5% Escorificado y Desgasificado.	Observación Ficha de observación
	Agitado de la mezcla	¿Cómo se agitará la mezcla?	Agitado manual. Agitado mecánico.	Observación Ficha de observación

3.4.2 Variable dependiente:

Dureza, resistencia a la tensión y tenacidad.

LO ABSTRACTO		LO OPERATIVO		
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS ^E
Dureza es la medida de resistencia de un metal a la deformación permanente (plástica) en su superficie. Resistencia a la tensión es la propiedad que tienen algunos materiales de soportar mucha tensión antes de fracturarse.	Deformación permanente en la superficie. Soportar tensión.	Dureza Brinell	50 – 150 HB.	Observación Ficha de observación
		¿Qué valores de resistencia a la cedencia se podrán obtener?	0 - 60000 Psi.	Observación Ficha de observación
		¿Qué valores de resistencia a la tensión se podrán obtener?	0 - 60000 Psi.	Observación Ficha de observación
Tenacidad es una medida de la energía que un material puede absorber antes de fracturarse.	Energía absorbida	¿Qué valores de % de elongación se podrán obtener? ¿Qué cantidad de energía puede absorber el material?	1% - 10% 0 – 335.4 Joules.	Observación Ficha de observación

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Para Qué?	La investigación se la realizó para mejorar la resistencia, resistencia y tenacidad de la aleación de Aluminio 4032 al reforzarla con partículas de carburo de silicio.
¿De qué personas u objetos?	Varios Lingotes cilíndricos fueron obtenidos de la fundición de pistones automotrices de aleación de aluminio 4032 y serán reforzados con partículas de carburo de silicio.
¿Sobre qué aspectos?	<p>Se evaluó el horno en el que se llevará a cabo la investigación.</p> <p>Se midió los parámetros de fundición.</p> <p>Se evaluó el agregado de diferentes porcentajes de refuerzo a la aleación.</p> <p>Se midió la resistencia al rayado o penetrado que presente la aleación con y sin refuerzo.</p> <p>Se midió la resistencia a la tracción que presente la aleación con y sin refuerzo.</p> <p>Se midió la cantidad de energía que las probetas podrán absorber antes de fracturarse.</p>
¿Quién? ¿Quiénes?	La investigación fue llevada a cabo por el investigador Luis Santana bajo la dirección y tutoría del Ing. Mg. Segundo Espín para dar seguimiento a la investigación.
¿A quiénes?	Los lingotes fueron maquinados para obtener probetas y sometidos a ensayos de tracción, dureza y tenacidad.
¿Cuándo?	Este proyecto fue ejecutado en el periodo comprendido entre Enero y Noviembre del 2013.
¿Dónde?	La presente investigación se la realizó en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
¿Cuántas veces?	Las veces que la situación lo amerite.

¿Cómo? ¿Qué técnicas de recolección?	¿Qué de Se utilizó técnicas de observación como: Observación Directa e indirecta. Observación Participante, no participante. Observación Estructurada, no estructurada Observación Individual, no individual Observación bibliográfica.
¿Con qué?	Cuaderno de notas, diario, lista de cotejo, ficha de campo. Bibliografía, catálogos, publicaciones, artículos, estudios, fichas técnicas, tabulaciones.

3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

3.6.1 Plan de procesamiento de la información.

Una vez que se recolectaron los datos se revisó críticamente la información recogida detectando la información defectuosa, errores y organizarla de manera que se facilite la tabulación.

Posteriormente se realizó la tabulación de cuadros según sus variables.

Se hizo una guía de laboratorio.

Se graficó y representó los resultados mediante gráficos.

3.6.2 Plan de análisis e interpretación de resultados.

- Se interpretó los resultados con apoyo del marco teórico.
- Se analizó los resultados obtenidos para averiguar si aprueban o reprueban.
- Se comprobó la hipótesis.
- Se estableció conclusiones y recomendaciones.

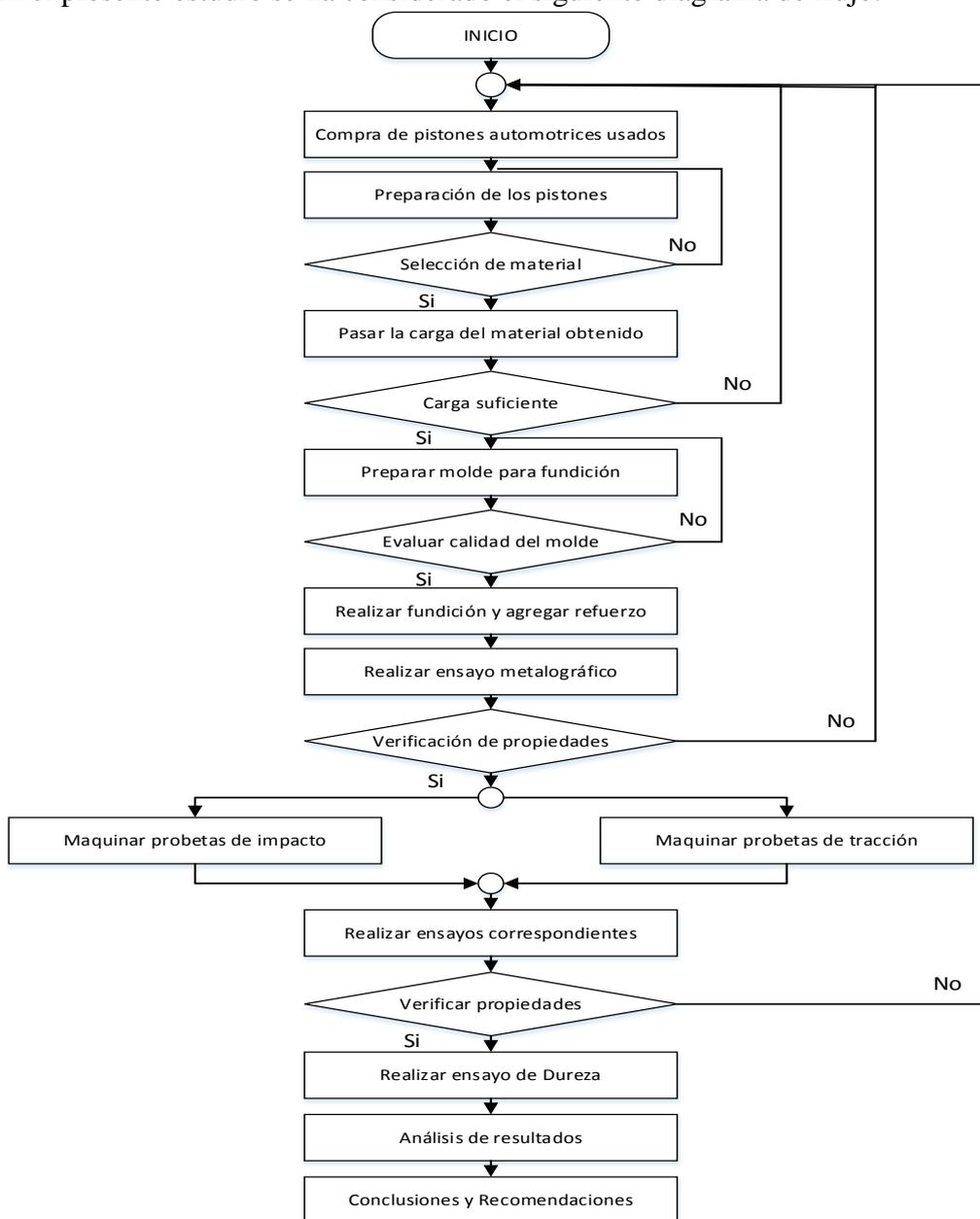
CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

4.1.1 Proceso de obtención y análisis de resultados.

En el presente estudio se ha considerado el siguiente diagrama de flujo:



4.1.2 Presentación de análisis de resultados.

4.1.2.1 Pruebas preliminares.

Prueba 1.

Fundición de la prueba 1.

Fecha: 12/01/2013

Hora de inicio: 9H00

Hora de finalización: 13H00

Para la realización de la primera prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen China de grafito.

La metodología empleada para preparar la carga fue dividir en 3 partes el carburo de silicio y de aluminio de pistón de tal forma que se agregó en la base 11.33 gramos de carburo de silicio, luego 215.33 gramos de aluminio de pistón y así sucesivamente repetimos el proceso hasta completar la carga de 34 gramos de carburo de silicio y 646 gramos de aluminio. Posteriormente encendimos el horno y esperamos a que la carga se funda completamente.

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

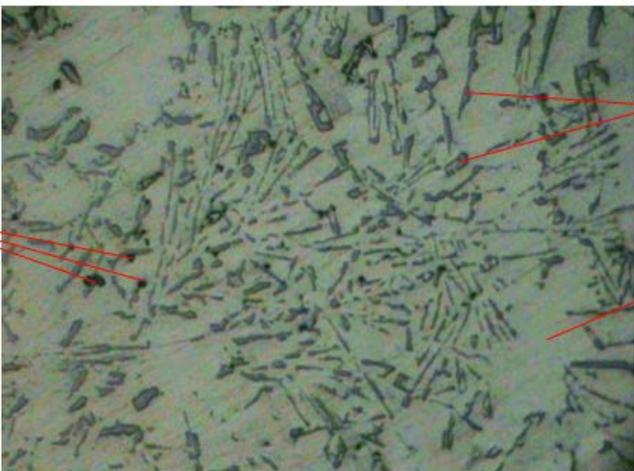
PRUEBA N°	01	Autorizado por	Ing. Mg. Espín	Realizado por:	L. Santana
Lugar de realización:	Aula de fundición		Fecha de realización:	12/01/2013	
Hora de inicio Fundición:	9H00	Hora de fin Fundición:	9H12	Tiempo de fundición	12 min.
Hora de inicio de Ensayo:	8H30	Hora de inicio de Ensayo:	9H55	Tiempo Total de Ensayo:	65 min.
Tipo de crisol:	Crisol de grafito cilíndrico. Origen Chino.		Dimensiones del crisol:	Cl: 2 A: 155 mm D: 94 mm F: 87 mm L: 0,45 Litros	
CONDICIONES DE FUNDICIÓN					
Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	NINGUNO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				
PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN					
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla del Poder de calentamiento	57%	Perilla del Poder de Retención	57%	Amperaje alcanzado	800 A.
Temperatura alcanzada:					680°C

OBSERVACIONES:

- La colada se fundió en un excelente tiempo.
- El carburo de silicio se depositó en el fondo.
- Existe formación de una capa superficial de escoria y aluminio solidificado en la colada.
- Fundición porosa y con presencia de escoria.
- Se observaron concentraciones negras en la fundición aparentemente de grafito desprendido del crisol.

Microestructura metalográfica Prueba 1.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRÁFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 01
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 01	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	14/01/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETRO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	65 min
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE	
RESULTADO:			
			
Microestructura prueba 1, a 100X, sin ataque.			
OBSERVACIONES:			
Se observan pequeños puntos negros en la microestructura posiblemente sea grafito dependido del crisol. Se asume que se perdió casi en su totalidad el carburo de silicio agregado.			



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

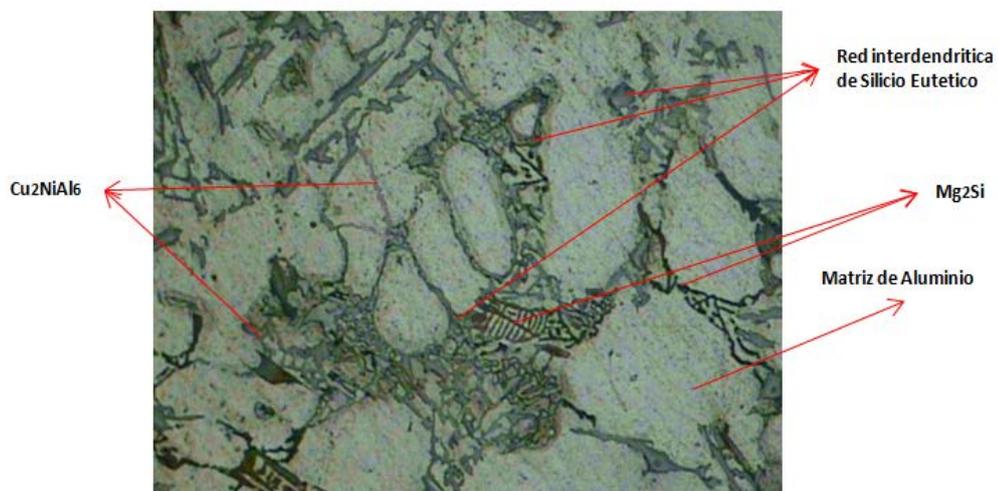
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 01
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 01	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	16/01/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis F. Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

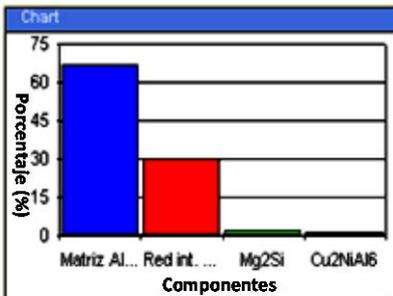
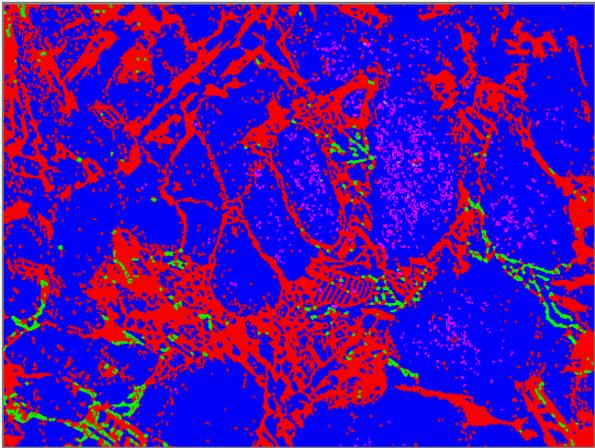
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	65 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo Keller	de	Durante: 30 seg

RESULTADO:



Microestructura prueba 1, a 100X, atacado con reactivo de Keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 90 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA PRUEBA 1												
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: Prueba 01										
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x										
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES												
Cálculo:												
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ por ley de Jeffries (100x)}$ $NA = 2 \left(8 + \frac{5}{2} \right)$ $NA = 2 * 10.5 = 21$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(21) - 2.954$ $G = 1.44$												
Tamaño de grano ASTM	1.44											
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X												
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>66,7</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si eutecti</td> <td>29,6</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>1,7</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	66,7	Red int. Si eutecti	29,6	Mg2Si	2,0	Cu2NiAl6	1,7	
Componentes	Porcentajes (%)											
Matriz Aluminio	66,7											
Red int. Si eutecti	29,6											
Mg2Si	2,0											
Cu2NiAl6	1,7											
<p>Revisada la microestructura de la Primera Prueba se puede indicar que los componentes de la aleación son: 66.7% de Matriz de Aluminio, 29.6% de Red interdendrítica de Silicio, 2% de Mg₂Si y 1.7% de Cu₂NiAl₆.</p>												

Nota: No se realizaron pruebas de dureza, impacto y tracción debido a que no se pudo agregar suficiente Carburo de Silicio (SiC) a la mezcla.

Prueba 2.

Fundición de la Prueba 2.

Fecha: 18/01/2013

Hora de inicio: 11H00

Hora de finalización: 15H00

Para la realización de la segunda prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen China de grafito.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar todo el carburo de silicio en el fondo, luego añadir 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente posteriormente se agita la mezcla manualmente con una varilla de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena. Mientras se vierte la colada en el molde se va empujando con la varilla las partículas que se encuentran flotando. Se deja reposar hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

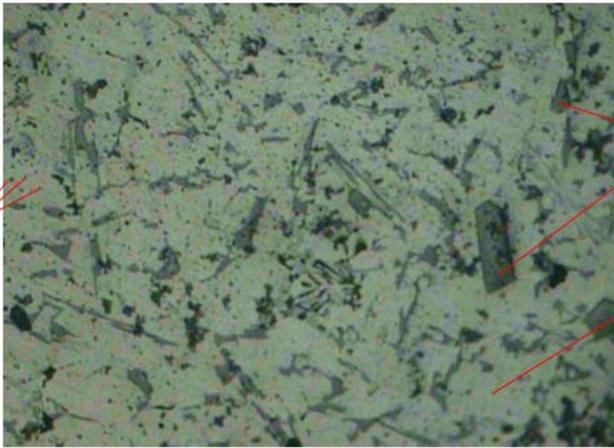
PRUEBA N°	02	Autorizado por:	Ing. Mg. S. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Aula de fundición		Fecha de realización:	18/01/2013	
Hora de inicio de fundición	11H00	Hora de fin de fundición	11H14	Tiempo de fundición	14 min.
Hora de inicio de Ensayo:	11H00	Hora de inicio de Ensayo:	11H55	Tiempo Total de Ensayo:	55 minutos
Tipo de crisol:	Crisol de grafito cilíndrico. Origen Chino.	Formato del crisol	Cl: 2 A: 155 mm D: 94 mm F: 87 mm L: 0,45 Litros		
CONDICIONES DE FUNDICIÓN					
Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde	Tipo de mezclado:	MANUAL		
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				
PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN					
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla del Poder de Calentamiento	60%	Perilla del Poder de Retención	60%	Amperaje alcanzado:	830 A.
Temperatura alcanzada:					700°C

RESULTADOS OBTENIDOS

- Se observa poros y escoria.
- Existe formación de la capa superficial en la colada, la misma que actúa como una malla que atrapa las partículas de carburo de silicio e impide que las mismas se mezclen con el aluminio.
- Mientras aumenta el tiempo de mezclado manual se observa mayor presencia de carburo de silicio en la superficie de la colada en forma de grumos secos.

Microestructura metalográfica Prueba 2.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 02		
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 02			
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	22/01/1013		
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM			
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETRO DEL ENSAYO METALOGRAFICO					
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.			
Temperatura durante el pulido:	19°C	Superficie preparada en:	60 min		
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE			
RESULTADO:					
					
Microestructura Prueba 2, a 100X, sin ataque.					
OBSERVACIONES:					
<ul style="list-style-type: none"> Se logra adicionar un pequeño porcentaje de carburo de silicio. El carburo de silicio se encuentra con una distribución no homogénea. Existen desprendimientos del crisol por lo que también se observan concentraciones de grafito. 					



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



ENSAYO METALOGRAFICO

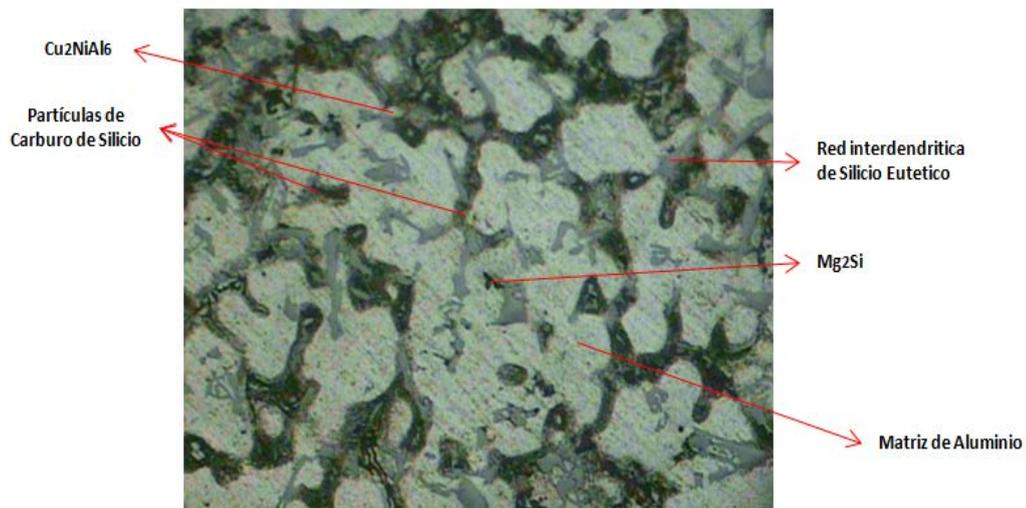
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 02
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 02		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	22/01/1013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

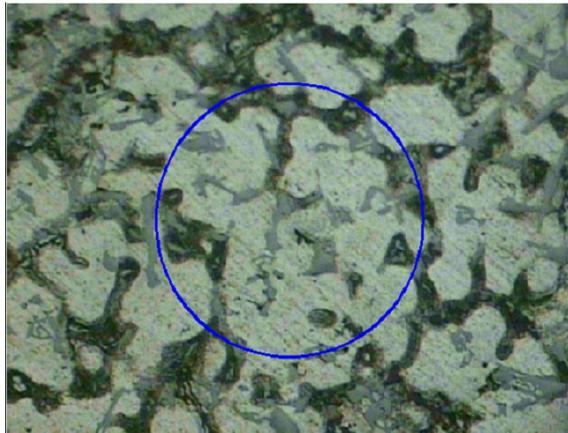
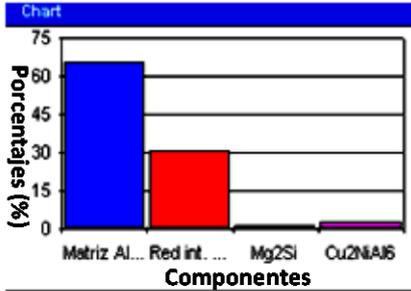
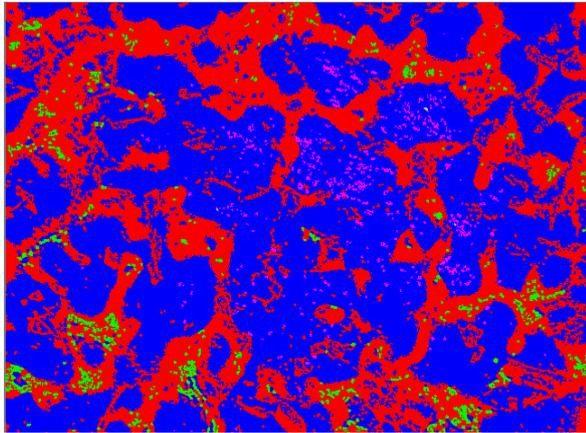
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido:	19°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	60 seg

RESULTADO:



Microestructura prueba 2, a100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 60 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA PRUEBA 2												
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: Prueba 02										
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x										
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES												
Cálculo:												
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ por } \textit{Jeffries} (100x)$ $NA = 2 \left(7 + \frac{7}{2} \right)$ $NA = 2 * 10,5 = 21$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(21) - 2.954$ $G = 1.44$												
Tamaño de grano ASTM	1.44											
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X												
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>65,2</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si eutecti</td> <td>30,4</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>3,0</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	65,2	Red int. Si eutecti	30,4	Mg2Si	1,0	Cu2NiAl6	3,0	
Componentes	Porcentajes (%)											
Matriz Aluminio	65,2											
Red int. Si eutecti	30,4											
Mg2Si	1,0											
Cu2NiAl6	3,0											
<p>Revisada la microestructura de la Segunda Prueba se puede indicar que los componentes de la aleación son: 65.2% de Matriz de Aluminio, 30.4% de Red interdendrítica de Silicio, 1% de Mg2Si y 3% de Cu2NiAl6.</p>												

Nota: No se realizaron pruebas de dureza, impacto y tracción debido a la falta de colada y los canales de distribución muy largos no permiten obtener las probetas.

Prueba 3.

Fundición de la prueba 3.

Fecha: 25/01/2013

Hora de inicio: 11H00

Hora de finalización: 15H15

Para la realización de la tercera prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen China de grafito.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se añade 0.01% (0.65 gr.) de bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}$ Sodium Tetraborate Decahydrate), inmediatamente se añade 34 gramos de carburo de silicio, y posteriormente se agitó la mezcla manualmente con una varilla de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PRUEBA N°	03	Autorizado por:	Ing. Mg. S. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Aula de fundición		Fecha de realización:	25/01/2013	
Hora de inicio fundición	11H00	Hora de fin fundición	11H15	Tiempo de fundición	15 min.
Hora de inicio de Ensayo:	11H00	Hora de inicio de Ensayo:	11H50	Tiempo Total de Ensayo:	50 minutos
Tipo de crisol:	Crisol de grafito cilíndrico. Origen Chino.		Formato del crisol	Cl: 2 A: 155 mm D: 94 mm F: 87 mm L: 0,45 Litros	

CONDICIONES DE FUNDICIÓN

Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	MANUAL	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				

PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN

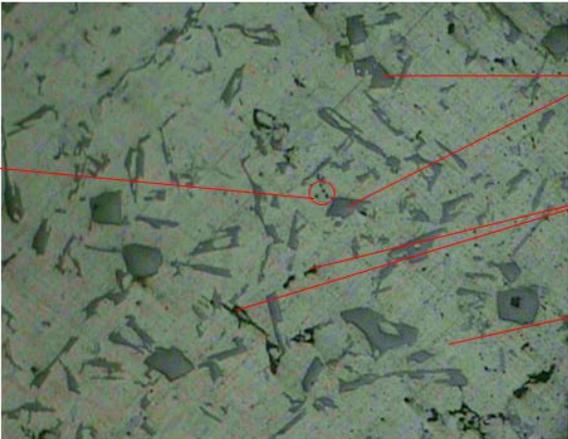
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla del Poder de Calentamiento	55%	Perilla del Poder de Retención	55%	Amperaje alcanzado	790 A.
Temperatura alcanzada:					680°C

RESULTADOS OBTENIDOS

- El bórax agregado rompe momentáneamente la capa superficial formada en la colada permitiendo que el carburo ingrese en la colada por unos cuantos segundos, sin embargo al mezclarlo manualmente el carburo de silicio vuelve a emerger y la capa vuelve a formarse.
- Existe presencia de poros y escoria.
- Se observa desgaste acelerado del crisol.

Microestructura metalográfica Prueba 3.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 03		
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 03			
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	30/01/1013		
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM			
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETRO DEL ENSAYO METALOGRAFICO					
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.			
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	60 min		
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE			
RESULTADO:					
					
Microestructura prueba 3, a100X, sin ataque.					
OBSERVACIONES:					
Se observa menor concentración de carburo de silicio, posiblemente debido a que no se empujo las partículas de carburo de silicio mientras se colaba.					



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



ENSAYO METALOGRAFICO

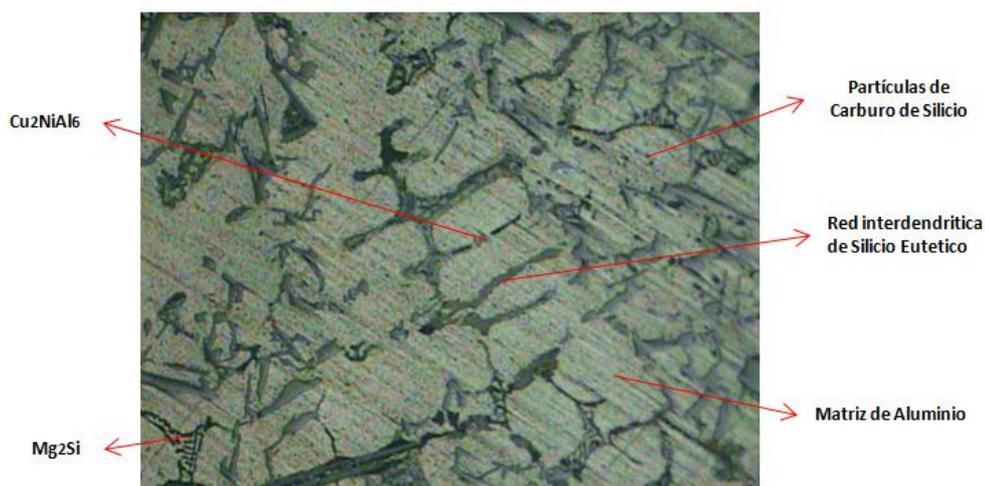
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 03
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 03		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	30/01/1013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

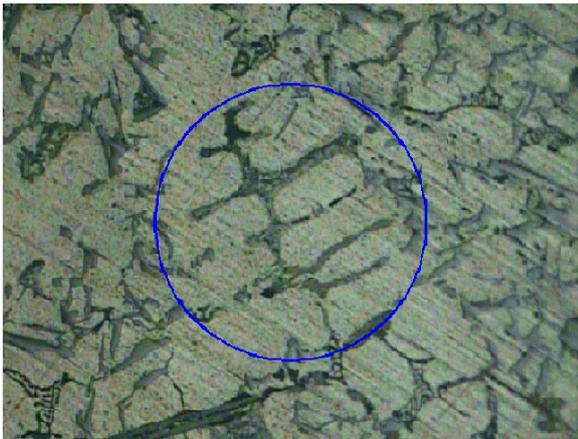
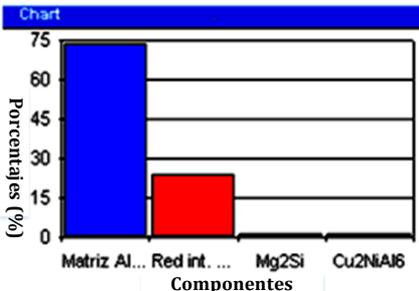
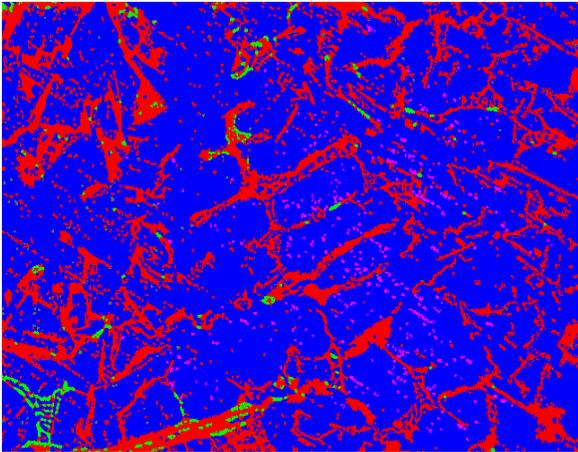
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido:	19°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	30 seg

RESULTADO:



Microestructura prueba 3, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 30 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA PRUEBA 3												
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: Prueba 03										
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x										
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES												
Cálculo:												
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ por } \text{le} f \text{ fries (100x)}$ $NA = 2 \left(8 + \frac{5}{2} \right)$ $NA = 2 * 11 = 21$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log (21) - 2.954$ $G = 1.44$												
Tamaño de grano ASTM	1.44											
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X												
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>73,5</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si euctecti</td> <td>23,8</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>1,1</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	73,5	Red int. Si euctecti	23,8	Mg2Si	1,2	Cu2NiAl6	1,1	
Componentes	Porcentajes (%)											
Matriz Aluminio	73,5											
Red int. Si euctecti	23,8											
Mg2Si	1,2											
Cu2NiAl6	1,1											
<p>Revisada la microestructura de la Tercera Prueba se puede indicar que los componentes de la aleación son: 73.5% de Matriz de Aluminio, 23.8% de Red interdendrítica de Silicio, 1.2% de Mg₂Si y 1.1% de Cu₂NiAl₆.</p>												

Nota: No se realizaron pruebas de dureza, impacto y tracción debido a que no se pudo agregar suficiente Carburo de Silicio (SiC) a la mezcla.

Prueba 4.

Fundición de la Prueba 4.

Fecha: 04/02/2013

Hora de inicio: 09H00

Hora de finalización: 13H15

Para la realización de la cuarta prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se añade 0.05% (3,25 gr.) de bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}$ Sodium Tetraborate Decahydrate), inmediatamente se añade 34 gramos de carburo de silicio, y posteriormente se agitó la mezcla manualmente con una varilla de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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

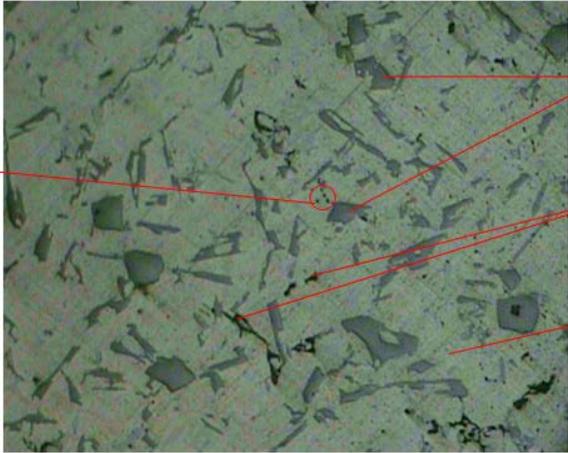


REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS						
PRUEBA N°	04	Autorizado por:	Ing. Mg. Espín	Realizado por	L. Santana	
Lugar realización:	de	Aula de fundición	Fecha de realización:	04/02/2013		
Hora de inicio de fundición	09H00	Hora de fin de fundición	09H19	Tiempo de fundición	de 19 min.	
Hora de inicio de Ensayo:	08H30	Hora de inicio de Ensayo:	09H40	Tiempo Total de Ensayo:	70 min.	
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Forma del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro		
CONDICIONES DE FUNDICIÓN						
Masa de Aluminio	de	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%		% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	MANUAL		
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena					
PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN						
Tiempo de calentamiento:	de	10 s.	Tiempo de permanencia:	de	30 s.	Tiempo de enfriamiento
Perilla reguladora de amperaje	de	62%	Perilla reguladora de amperaje	de	62%	Amperaje alcanzado
					Temperatura alcanzada:	700°C

RESULTADOS OBTENIDOS
<ul style="list-style-type: none"> • El bórax añadido genera una ruptura momentánea de la capa superficial formada en el aluminio. • Las partículas de carburo de silicio se hunden momentáneamente sin embargo mientras se mezcla aparecen concentraciones de partículas de SiC a manera de grumos rojisos en la superficie. • La Fundición se muestra porosa en su interior.

Microestructura metalográfica Prueba 4.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 04		
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 04				
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	05/02/1013		
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM				
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETRO DEL ENSAYO METALOGRAFICO					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.				
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	67 min		
Ataque químico de superficie con:	SIN ATAQUE				
RESULTADO:					
					
Microestructura prueba 4, a 100X, sin ataque.					
OBSERVACIONES:					
Se observa pequeña concentración de partículas de carburo de silicio.					
Se observa poros en el metal pulido la cantidad de poros.					



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



ENSAYO METALOGRAFICO

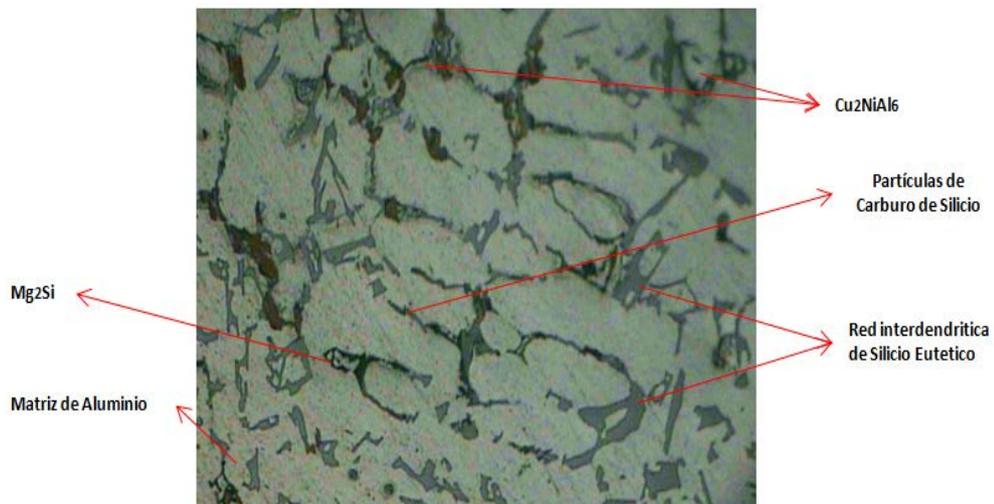
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 04
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 04		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	05/02/1013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

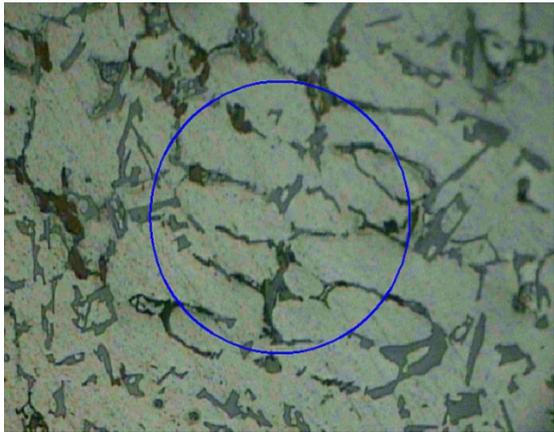
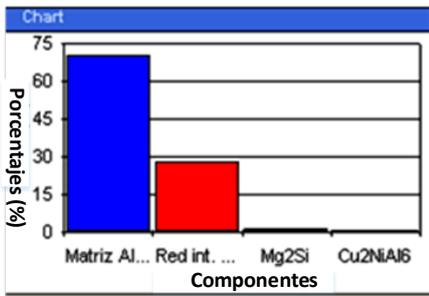
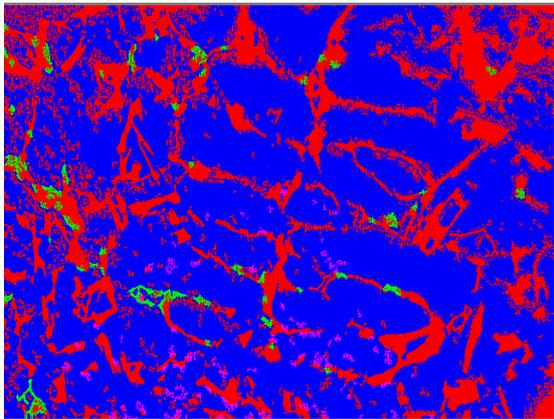
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido:	19°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	30 seg

RESULTADO:



Microestructura prueba 4, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 30 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA PRUEBA 4												
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: Prueba 04										
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x										
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES												
Cálculo:												
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ <p>$f = 2$ por <i>leffries</i> (100x)</p> $NA = 2 \left(6 + \frac{10}{2} \right)$ $NA = 2 * 11 = 22$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(22) - 2.954$ $G = 1.505$												
Tamaño de grano ASTM	1.51											
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X												
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>70,0</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si euctecti</td> <td>27,9</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>1,3</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>0,9</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	70,0	Red int. Si euctecti	27,9	Mg2Si	1,3	Cu2NiAl6	0,9	
Componentes	Porcentajes (%)											
Matriz Aluminio	70,0											
Red int. Si euctecti	27,9											
Mg2Si	1,3											
Cu2NiAl6	0,9											
<p>Revisada la microestructura de la Cuarta Prueba se puede indicar que los componentes de la aleación son: 70.0% de Matriz de Aluminio, 27.9% de Red interdendrítica de Silicio, 1.3% de Mg₂Si y 0.9% de Cu₂NiAl₆.</p>												

Nota: No se realizaron pruebas de dureza, impacto y tracción debido a que no se pudo agregar suficiente Carburo de Silicio (SiC) a la mezcla.

Prueba 5.

Fundición de la Prueba 5.

Fecha: 11/03/2013

Hora de inicio: 08H15

Hora de finalización: 11H45

Para la realización de la quinta prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se añade 34 gramos de carburo de silicio, posteriormente fue mezclada con una mezcladora mecánica de 4 paletas verticales de 2.5 cm por 2.5 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador a 600 RPM durante 8 minutos. (Eje ½ pulgada)

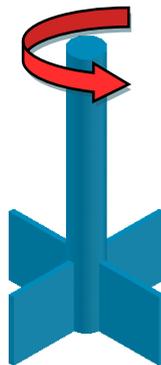


Figura 4.1 Mezclador 4 paletas horizontales. 2.5 x 2.5 cm.

Fuente: Autor

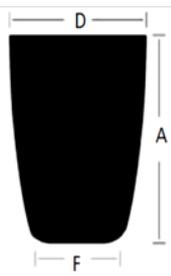
Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PRUEBA N°	05	Autorizado por:	Ing. Mg. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Aula de fundición		Fecha de realización:	11/03/2013	
Hora de inicio de fundición	08H15	Hora de fin de fundición	08H40	Tiempo de fundición	25 min.
Hora de inicio de Ensayo:	08H00	Hora de inicio de Ensayo:	11H00	Tiempo Total de Ensayo:	180 minutos
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	

CONDICIONES DE FUNDICIÓN

Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	MECÁNICO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				

PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN

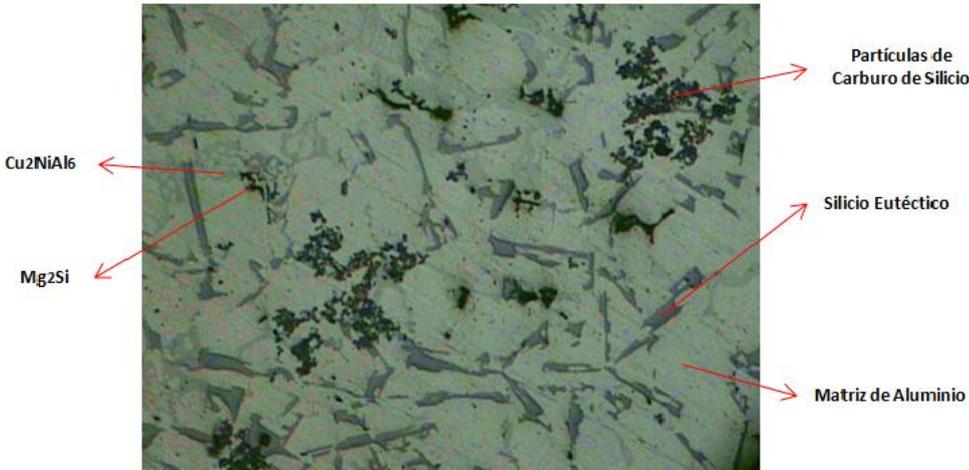
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	54%	Perilla reguladora de amperaje	54%	Amperaje alcanzado	800A
Temperatura alcanzada:				670°C	

RESULTADOS OBTENIDOS

- Se observa diferencia de viscosidades en la colada.
- La parte superior de la colada se muestra mucho más viscosa que la del fondo.
- Al colar se observa que primero se cola la parte más densa y con menos viscosidad, es decir que falta homogeneidad en la colada.
- Se especula que faltó mayor tiempo de retención del Stir casting.

Microestructura metalográfica Prueba 5.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 05
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 05	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	13/03/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:		18°C	Superficie preparada en: 57 min
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE	
RESULTADO:			
			
Microestructura Prueba 5, a 100X, sin ataque.			
OBSERVACIONES:			
<ul style="list-style-type: none"> Se observa concentraciones de partículas de carburo de silicio que en agrupaciones muy similares a arbustos algo distantes a lo largo de la colada. No se logra una distribución homogénea a través de toda la estructura. No se logra disminuir la cantidad de poros en la superficie pulida. 			



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



ENSAYO METALOGRAFICO

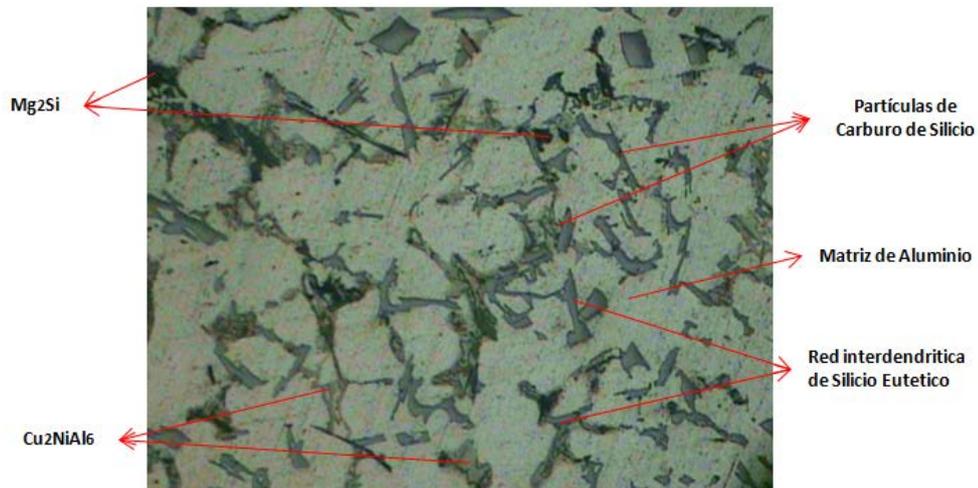
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 05
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 05	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	25/02/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

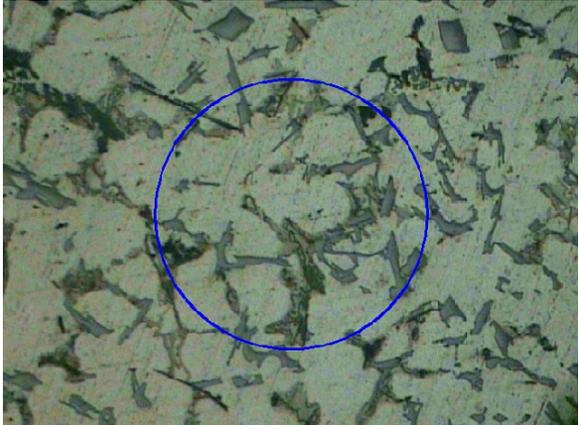
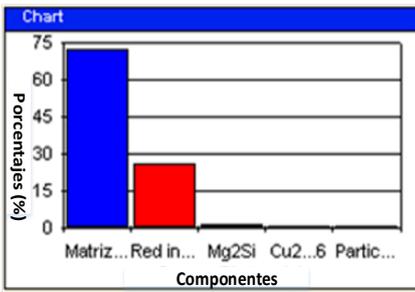
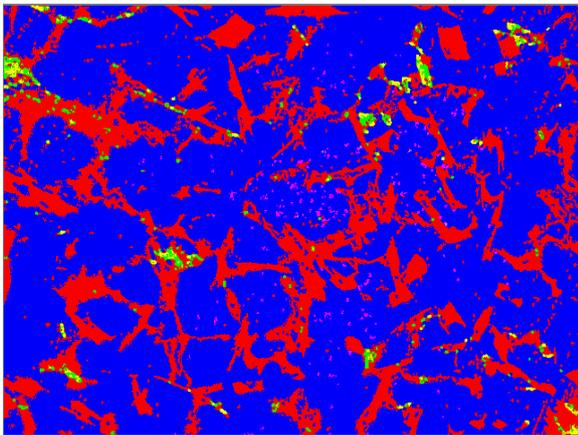
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	19°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	30 seg

RESULTADO:



Microestructura prueba 5, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 30 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA PRUEBA 5														
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: Prueba 05												
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x												
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES														
Cálculo:														
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ por } lef \text{ fries (100x)}$ $NA = 2 \left(7 + \frac{8}{2} \right)$ $NA = 2 * 11 = 22$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log (22) - 2.954$ $G = 1.51$														
Tamaño de grano ASTM	1.51													
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X														
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>72,1</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si euctecti</td> <td>25,6</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>Particulas SiC</td> <td>0,6</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	72,1	Red int. Si euctecti	25,6	Mg2Si	1,2	Cu2NiAl6	0,5	Particulas SiC	0,6	
Componentes	Porcentajes (%)													
Matriz Aluminio	72,1													
Red int. Si euctecti	25,6													
Mg2Si	1,2													
Cu2NiAl6	0,5													
Particulas SiC	0,6													
<p>Revisada la microestructura de la Quinta Prueba se puede indicar que los componentes de la aleación son: 72.1% de Matriz de Aluminio, 25.6% de Red interdendrítica de Silicio, 1.2% de Mg2Si, 0.5% de Cu2NiAl6 y 0.6% de Partículas de Carburo de Silicio.</p>														

Nota: No se realizaron pruebas de dureza, impacto y tracción debido a que no se pudo obtener una buena distribución de Carburo de Silicio (SiC) en la mezcla.

Prueba 6.

Fundición de la Prueba 6.

Fecha: 18/03/2013

Hora de inicio: 08H00

Hora de finalización: 11H20

Para la realización de la sexta prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salander Grafinox) de grafito y arcilla. Se realizan los siguientes cambios: En el mezclador se realiza un agujero en la parte superior de la campana y se agrega un canal (Tubo 1 pulg.) que apunte al centro del vórtice.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se añade 34 gramos de carburo de silicio en porciones de 0.5 gramos cada 2 segundos a través del canal añadido al mismo tiempo que se mezcla con la mezcladora mecánica de 4 paletas verticales de 2.5 cm por 2.5 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador a 600 RPM durante 16 minutos. (Eje ½ pulgada).

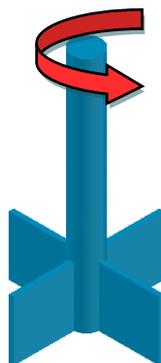


Figura 4.1 Mezclador 4 paletas horizontales. 2.5 x 2.5 cm.

Fuente: Autor

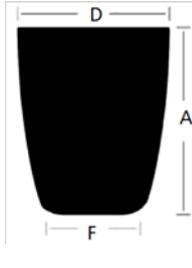
Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

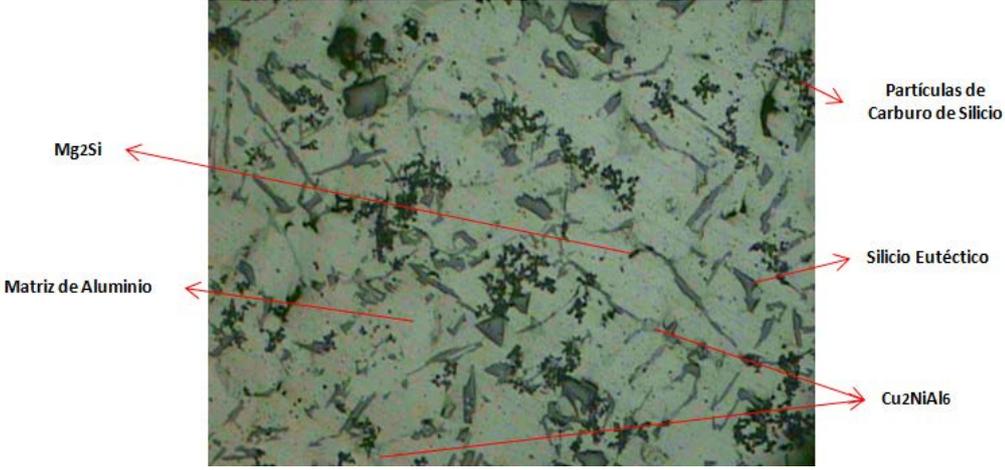
PRUEBA N°	06	Autorizado por	Ing. Mg. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización	Aula de fundición		Fecha de realización:	18/03/2013	
Hora de inicio de fundición	09H00	Hora de fin de fundición	09H26	Tiempo de fundición	26 min.
Hora de inicio de Ensayo:	08H50	Hora de inicio de Ensayo:	10H10	Tiempo Total de Ensayo:	80 minutos
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Forma del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	
CONDICIONES DE FUNDICIÓN					
Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	MECÁNICO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				
PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN					
Tiempo de calentamiento	10 s.	Tiempo de permanencia	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	790 A.
Temperatura alcanzada:					679°C

RESULTADOS OBTENIDOS

- Se observa una mejor mezcla final del compuesto formado. Continúa la presencia de dos viscosidades, una mayor viscosidad en la parte superior y menor en la parte inferior. Al igual que en la prueba 5 se cola primero la parte más densa y menos viscosa.
- Continúa la presencia de poros en la superficie de la probeta pulida.

Microestructura metalográfica Prueba 6.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 06
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 06	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	21/03/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	49 min
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE	
RESULTADO:			
			
Microestructura Prueba 6, a 100X, sin ataque.			
OBSERVACIONES:			
<ul style="list-style-type: none"> • La distribución de partículas de carburo de silicio es más homogénea que en los casos anteriores, sin embargo no es lo suficientemente buena para acogerla. • Probablemente con el incremento del tiempo de mezcla se logre obtener una mejor distribución. 			



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



ENSAYO METALOGRÁFICO

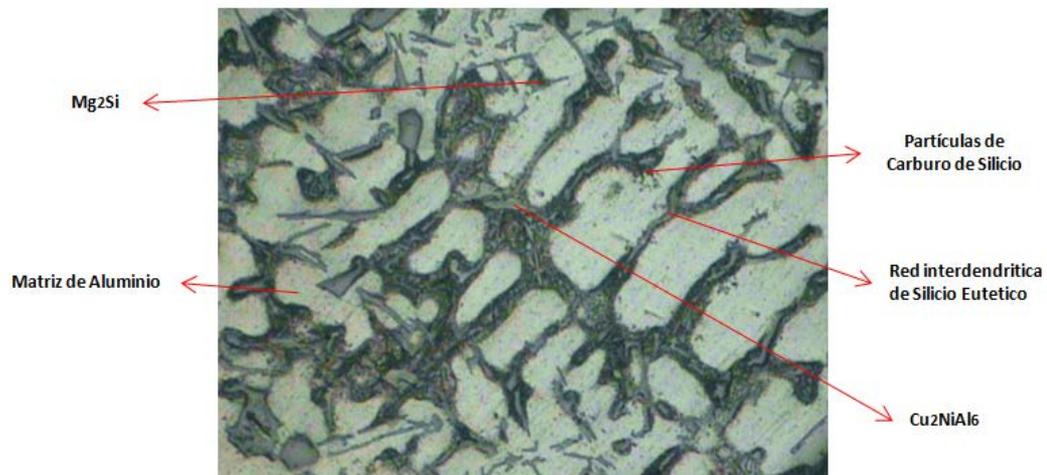
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 06
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 06		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	21/03/1013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

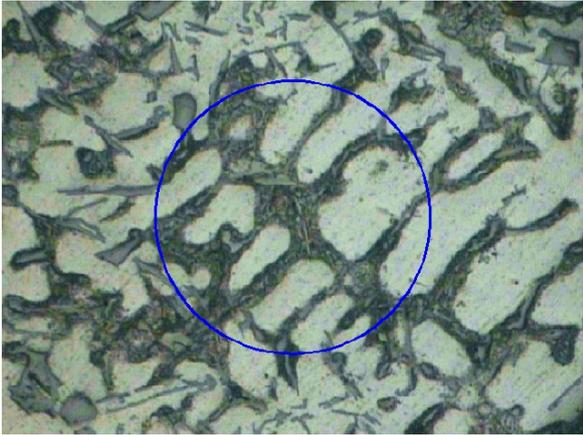
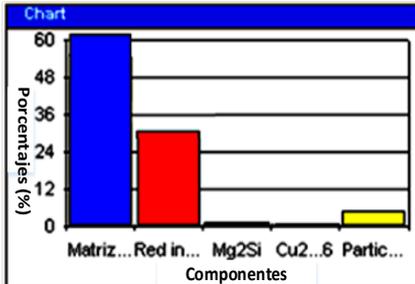
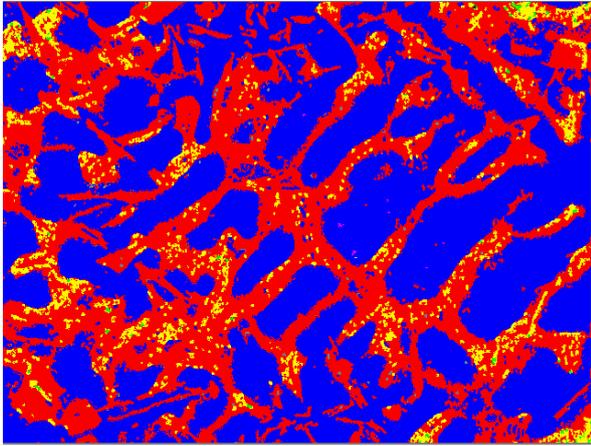
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido:	19°C	Superficie preparada en:	60 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	45 seg

RESULTADO:



Microestructura Prueba 6, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 30 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA PRUEBA 6														
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: Prueba 06												
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x												
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES														
Cálculo:														
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ por } \textit{Jeffries} (100x)$ $NA = 2 \left(6 + \frac{10}{2} \right)$ $NA = 2 * 11 = 22$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log (22) - 2.954$ $G = 1.51$														
Tamaño de grano ASTM	1.51													
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X														
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>64,1</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si eutecti</td> <td>30,2</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>Partículas SiC</td> <td>4,0</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	64,1	Red int. Si eutecti	30,2	Mg2Si	1,2	Cu2NiAl6	0,5	Partículas SiC	4,0	
Componentes	Porcentajes (%)													
Matriz Aluminio	64,1													
Red int. Si eutecti	30,2													
Mg2Si	1,2													
Cu2NiAl6	0,5													
Partículas SiC	4,0													
<p>Revisada la microestructura de la Sexta Prueba se puede indicar que los componentes de la aleación son: 64.1% de Matriz de Aluminio, 30.2% de Red interdendrítica de Silicio, 1.2% de Mg₂Si, 0.5% de Cu₂NiAl₆ y 4% de Partículas de Carburo de Silicio.</p>														

Nota: No se realizaron pruebas de dureza, impacto y tracción debido mala distribución del Carburo de Silicio (SiC) en la mezcla y la excesiva cantidad de poros en la misma.

Prueba 7.

Fundición de la Prueba 7.

Fecha: 02/04/2013

Hora de inicio: 08H00

Hora de finalización: 11H30

Para la realización de la séptima prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salander Grafinox) de grafito y arcilla. Se realizan los siguientes cambios: El mezclador anterior se lo reemplaza por otro de tamaño de 4cm x 4cm e inclinación de las paletas a 45°.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se añade 34 gramos de carburo de silicio en porciones de 0.5 gramos cada 2 segundos a través del canal añadido al mismo tiempo que se mezcla con la mezcladora mecánica de 4 paletas inclinadas a 45° de 4 cm por 4 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador a 600 RPM durante 8 minutos. (Eje ½ pulgada)

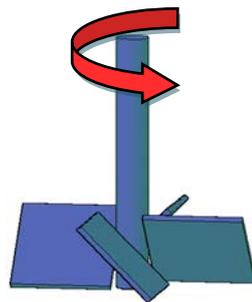


Figura 4.2 Mezclador 4 paletas inclinadas a 45°. 4 x 4 cm.

Fuente: Autor

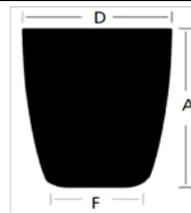
Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PRUEBA N°	07	Autorizado por	Ing. Mg. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Taller de fundición		Fecha de realización:	02/04/2013	
Hora de inicio de fundición	08H10	Hora de fin de fundición	08H34	Tiempo de fundición	24 min.
Hora de inicio de Ensayo:	08H00	Hora de inicio de Ensayo:	10H00	Tiempo Total de Ensayo:	60 min.
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	

CONDICIONES DE FUNDICIÓN

Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	MECÁNICO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				

PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN

Tiempo de calentamiento	10 s.	Tiempo de permanencia	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	790 A.
Temperatura alcanzada:					679°C

RESULTADOS OBTENIDOS

Se considera un fracaso debido a la aparición de macro poros formados en el compuesto, razón por la cual no se procede a realizar el análisis. Se recomienda disminuir la velocidad de mezclado.



Figura 4.3 Probeta con presencia de macroporos obtenida de la prueba 7.

Fuente: Autor

Prueba 8.

Fundición de la Prueba 8.

Fecha: 09/04/2013

Hora de inicio: 08H00

Hora de finalización: 10H40

Para la realización de la octava prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se añade 34 gramos de carburo de silicio en porciones de 0.5 gramos cada 2 segundos a través del canal añadido al mismo tiempo que se mezcla con la mezcladora mecánica de 4 paletas inclinadas a 45° de 4 cm por 4 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador, se disminuye la velocidad de mezclado a 400 RPM durante 8 minutos. (Eje ½ pulgada)

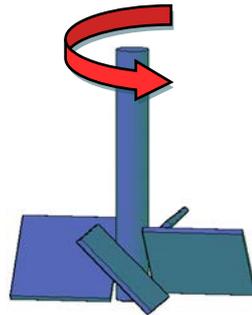


Figura 4.2 Mezclador 4 paletas inclinadas a 45°. 4 x 4 cm.

Fuente: Autor

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



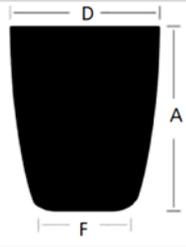
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
PRUEBA N°	08	Autorizado por:	Ing. Mg. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Taller de fundición		Fecha de realización:	09/04/2013	
Hora de inicio de fundición	08H10	Hora de fin de fundición	08H30	Tiempo de fundición	20 min.
Hora de inicio de Ensayo:	08H00	Hora de fin de Ensayo:	09H05	Tiempo Total de Ensayo:	65 minutos
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	
CONDICIONES DE FUNDICIÓN					
Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	MECÁNICO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				
PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN					
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	800 A.
				Temperatura alcanzada:	679 °C.
RESULTADOS OBTENIDOS					
<ul style="list-style-type: none"> A pesar de la reducción de la velocidad continúa la presencia de macro poros formados en el compuesto, razón por la cual tampoco se procede a realizar el análisis. Se recomienda usar paletas inclinadas a 90° e incrementar su tamaño. 					



Figura 4.4 Probeta con presencia de macroporos obtenida de la prueba 8 .

Fuente: El autor

Prueba 9.

Fundición de la Prueba 9.

Fecha: 24/04/2013

Hora de inicio: 09H00

Hora de finalización: 11H30

Para la realización de la novena prueba se utilizó un horno de inducción del aula de fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salander Grafinox) de grafito y arcilla. Se realizan los siguientes cambios: El mezclador se lo reemplaza por otro con tamaño de paletas 4cm de ancho x 5.5cm de alto e inclinación de las paletas a 90° (verticales).

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se añade 34 gramos de carburo de silicio en porciones de 0.5 gramos cada 2 segundos a través del canal añadido al mismo tiempo que se mezcla con la mezcladora mecánica de 4 paletas inclinadas a 90° de 4cm por 5.5 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador a 600 RPM durante 8 minutos. (Eje ½ pulgada).

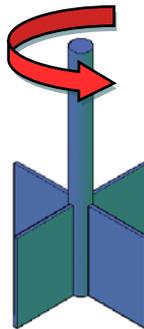


Figura 4.5 Mezclador 4 paletas verticales. 4 x 5.5cm.

Fuente: Autor

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.

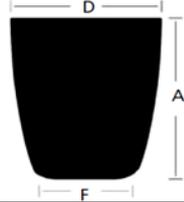
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS					
PRUEBA N°	09	Autorizado por:	Ing. Mg. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización	Aula de fundición		Fecha de realización:	24/04/2013	
Hora de inicio de fundición	09H00	Hora de fin de fundición	09H18	Tiempo de fundición	18 min.
Hora de inicio de Ensayo:	09H00	Hora de fin de Ensayo:	10H00	Tiempo Total de Ensayo:	60 min.
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.	Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro		
CONDICIONES DE FUNDICIÓN					
Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	MECÁNICO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				
PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN					
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	785 A.
				Temperatura alcanzada:	682°C
RESULTADOS OBTENIDOS					
<ul style="list-style-type: none"> Se evidencia la presencia de macro poros formados en el compuesto, razón por la cual tampoco se procede a realizar el análisis. Se presume que se debe a la alta velocidad de mezclado con paletas más grandes. 					



Figura 4.6 Probeta con presencia de macroporos obtenida de la prueba 9.

Fuente: El autor.

Prueba 10.

Fundición de la Prueba 10.

Fecha: 29/04/2013

Hora de inicio: 08H00

Hora de finalización: 10H50

Para la realización de la décima prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se agrega 19.5 gramos de des escoriante (3%) y 3.23 gramos de desgasificador (0.5%), se mezcla manualmente y se retira la escoria formada, añadimos 34 gramos de carburo de silicio (5%) precalentado previamente a 550°C dosificando una ración de 0.5 gramos (aprox.) intercalada cada 2 segundos al mismo tiempo que se revuelve con la mezcladora mecánica (Stir Casting) de 4 paletas inclinadas a 90° de 4cm por 5.5 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador, se disminuye la velocidad de mezclado a 400 RPM durante 8 minutos. (Eje ½ pulgada).

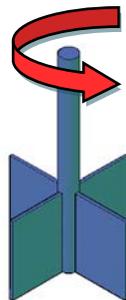


Figura 4.5 Mezclador 4 paletas verticales. 4 x 5.5cm.

Fuente: Autor

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

PRUEBA N°	10	Autorizado por:	Ing. Mg. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Aula de fundición		Fecha de realización:	29/04/2013	
Hora de inicio de fundición	08H10	Hora de fin de fundición	08H33	Tiempo de fundición	23 min.
Hora de inicio de Ensayo:	08H00	Hora de inicio de Ensayo:	10H00	Tiempo Total de Ensayo:	120 min.
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	

CONDICIONES DE FUNDICIÓN

Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	34 gr	MASA TOTAL	680 gr
% de Al	95%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado	MECÁNICO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				

PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN

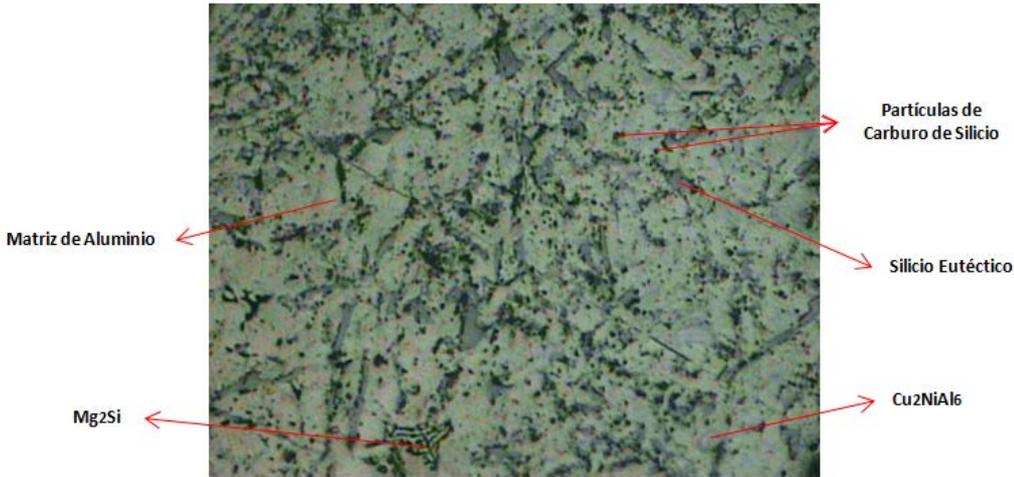
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	1t0s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	810 A.
Temperatura alcanzada:					679 °C.

RESULTADOS OBTENIDOS

- Todo el carburo de silicio fue mezclado con éxito.
- Se observa insignificante porosidad interna y la probeta pulida muestra la tonalidad gris del carburo de silicio.
- El añadir poco a poco el carburo de silicio hacia el centro del vórtice formado por las paletas permite que la mojabilidad se incremente.
- Precalentar el carburo de silicio evita en enfriamiento de la colada y la formación de poros.

Microestructura metalográfica Prueba 10.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el resultado:

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 10
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 10	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	30/04/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	45 min
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE	
RESULTADO:			
			
Microestructura Prueba 10, a 100X, sin ataque.			
OBSERVACIONES:			
<p>Se observa una gran concentración de carburo de silicio con una buena distribución. Existe homogeneidad en la colada. No se aprecia diferencias de densidades y viscosidades en la colada.</p>			



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



ENSAYO METALOGRAFICO

DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 10
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 10		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	31/04/1013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido:	21°C	Superficie preparada en:	49 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	30 seg

RESULTADO:

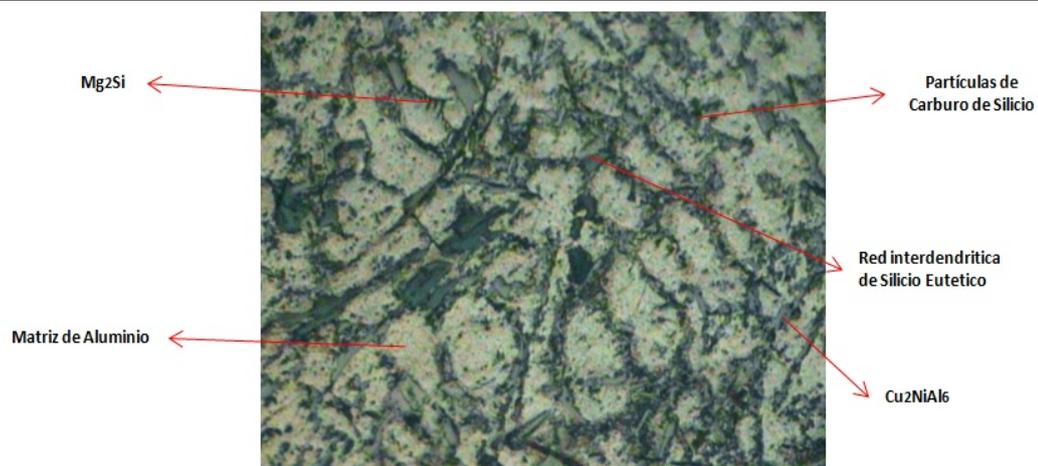
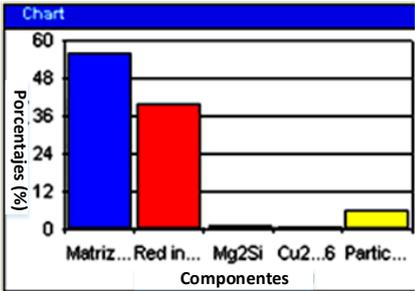
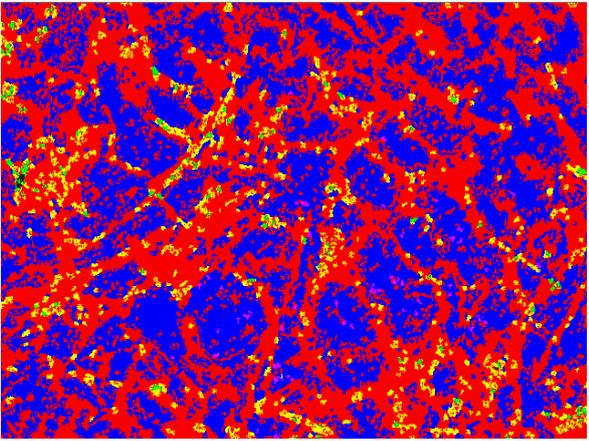


Figura 4.2. Microestructura prueba 10, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 30 segundos. **(Fuente: El autor)**

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA PRUEBA 10														
Determinación del tamaño de grano	Microestructura: Prueba 10													
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x												
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES														
Cálculo:														
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ por } \textit{Jeffries} (100x)$ $NA = 2 \left(6 + \frac{9}{2} \right)$ $NA = 2 * 10.5 = 21$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log (21) - 2.954$ $G = 1.44$														
Tamaño de grano ASTM	1.44													
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X														
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>58,3</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si eutecti</td> <td>34,6</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>0,4</td> </tr> <tr> <td>Partículas SiC</td> <td>5,8</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	58,3	Red int. Si eutecti	34,6	Mg2Si	0,6	Cu2NiAl6	0,4	Partículas SiC	5,8	
Componentes	Porcentajes (%)													
Matriz Aluminio	58,3													
Red int. Si eutecti	34,6													
Mg2Si	0,6													
Cu2NiAl6	0,4													
Partículas SiC	5,8													
<p>Revisada la microestructura de la Décima Prueba se puede indicar que los componentes del compuesto son: 58.3% de Matriz de Aluminio, 34.6% de Red interdendrítica de Silicio, 0.6% de Mg₂Si, 0.4% de Cu₂NiAl₆ y 5.8% de Partículas de Carburo de Silicio.</p>														

NOTA: Una vez determinado el proceso más adecuado para la obtención del compuesto se procedió a trabajar en los Casos de Investigación.

4.1.2.2 Casos de investigación.

CASO 1.

Fundición del CASO 1.

Fecha:06/05/2013 – 21/05/2013

Para la realización del CASO 1 se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salamander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie.

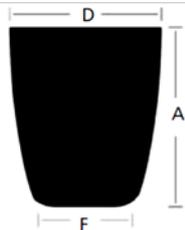
Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

CASO N°	1	Autorizado por	Ing. Mg. S. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Taller de fundición		Fecha de realización:	06/05/2013	
Hora de inicio de fundición	08H10	Hora de fin de fundición	08H26	Tiempo de fundición	16 min.
Hora de inicio de Ensayo:	08H00	Hora de inicio de Ensayo:	08H50	Tiempo Total de Ensayo:	50 min.
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	

CONDICIONES DE FUNDICIÓN

Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	0 gr	MASA TOTAL	646 gr
% de Al	100%	% de SiC	0%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	NINGUNA	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				

PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN

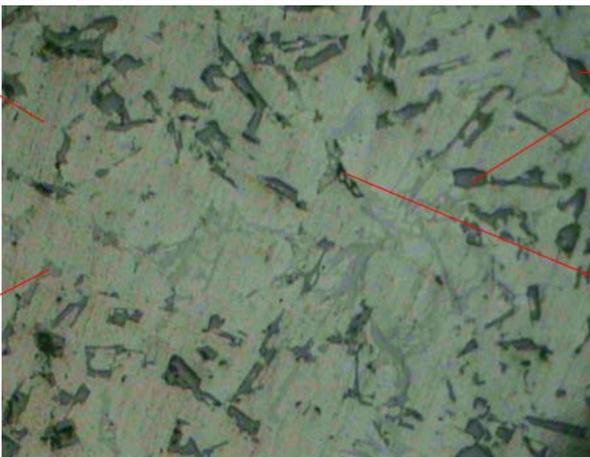
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	800 A.
Temperatura alcanzada:					675 °C.

RESULTADOS OBTENIDOS

- La aleación presenta un tono poco brillante debido a la presencia de porosidad y escoria en la aleación.

Microestructura metalográfica CASO 1.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 1.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 1.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	10/05/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE	
RESULTADO:			
			
Figura 4.1. Microestructura probeta EM 1.0, a 100X, sin ataque. (Fuente: El autor)			
OBSERVACIONES:			
<ul style="list-style-type: none"> • Probeta con presencia de porosidad. 			



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



ENSAYO METALOGRAFICO

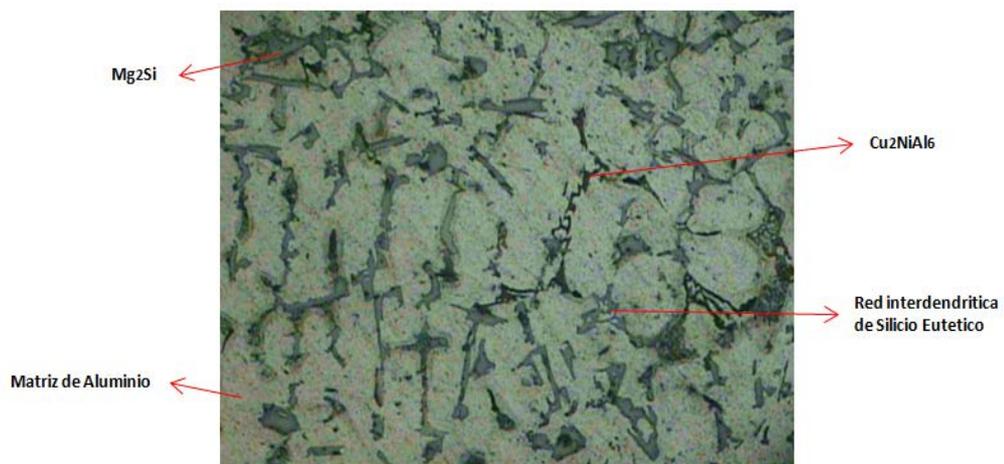
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 1.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 1.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	10/05/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

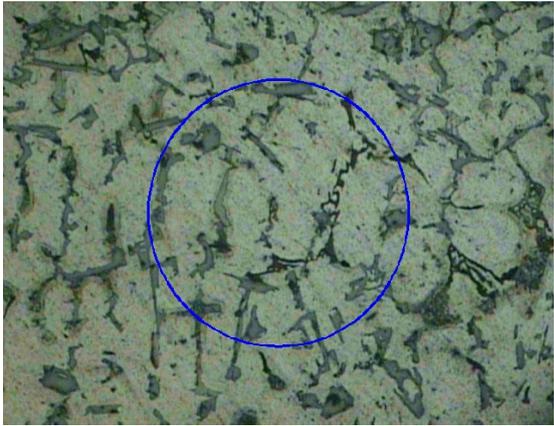
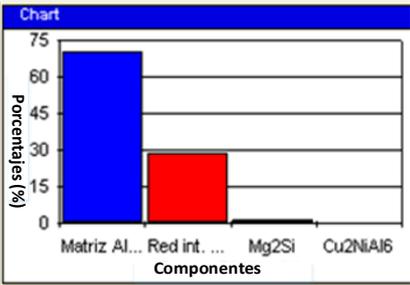
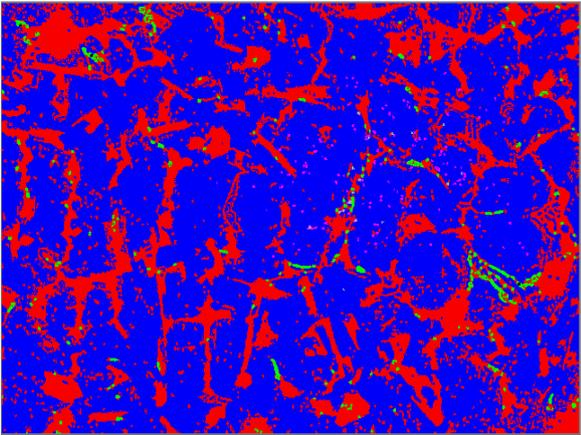
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	45 seg

RESULTADO:



Microestructura probeta EM 1.0, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 30 segundos.

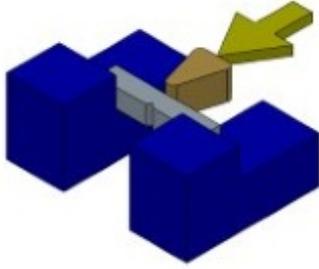
Se observa presencia de escoria en la microestructura.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA CASO 1												
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: EM 1.0										
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x										
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES												
Cálculo:												
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ <p>$f = 2$ por Jeffries (100x)</p> $NA = 2 \left(6 + \frac{10}{2} \right)$ $NA = 2 * 11 = 22$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(22) - 2.954$ $G = 1.505$												
Tamaño de grano ASTM	1.51											
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X												
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>70,2</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si eucteci</td> <td>28,3</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>0,3</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	70,2	Red int. Si eucteci	28,3	Mg2Si	1,2	Cu2NiAl6	0,3	
Componentes	Porcentajes (%)											
Matriz Aluminio	70,2											
Red int. Si eucteci	28,3											
Mg2Si	1,2											
Cu2NiAl6	0,3											
<p>Revisada la microestructura del CASO 1 se puede indicar que los componentes de la aleación son: 70.2% de Matriz de Aluminio, 28.3% de Red interdendrítica de Silicio, 1.2% de Mg₂Si Y 0.3% de Cu₂NiAl₆.</p>												

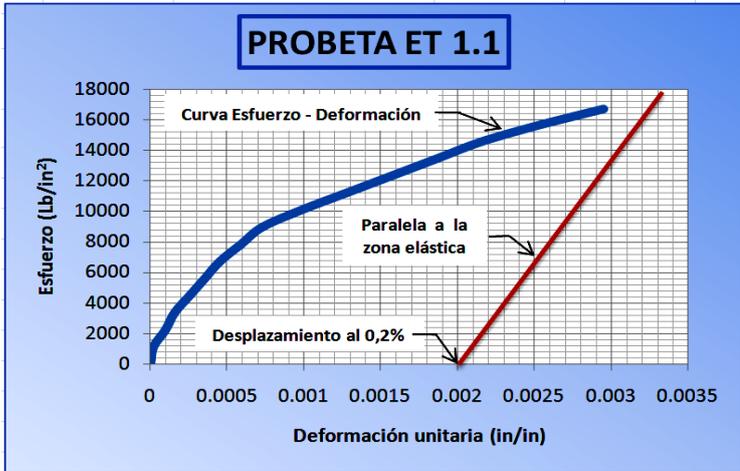
Ensayo de Dureza CASO 1.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ED 1.0		
Identificación de componente de estudio:	Probeta ED 1.0				
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	13/05/1013		
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM				
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
Norma aplicable:	ASTM E 10:01				
Temperatura Ambiente:	20°C	Tipo de Identador:	Bola de 2.5mm		
Valor de carga aplicada:	612.9 N	Tiempo de ensayo:	18 min		
RESULTADO:					
Fórmula de Cálculo: $D = 2.5 \text{ mm}$ $d = (\text{Huella mm})$ $P = (612.9\text{N}) = 62.5\text{Kg}$ $HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ $= \frac{2(62.5)}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$ $= \frac{125}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$	No de huella	Diámetro huella(d) mm	Dureza Brinell HB		
	ED1.1	1.010 mm	74.68 HB		
	ED1.2	0.965 mm	82.14 HB		
	ED1.3	0.890 mm	97.17 HB		
	ED1.4	1.020 mm	73.16 HB		
	ED1.5	0.890 mm	97.17 HB		
	ED1.6	0.900 mm	94.95 HB		
	ED1.7	0.910 mm	92.80 HB		
	ED1.8	0.900 mm	94.95 HB		
	ED1.9	1.100 mm	62.41 HB		
	ED1.10	0.870 mm	101.85 HB		
Dureza Brinell (HB) promedio:			87.13 HB		
<p>La Dureza promedio que soportan las probetas sin escorificar ni desgasificar al 0% de SiC es de 87.13 HB. El menor valor registrado es de 74.69 HB y el mayor valor es de 101.85 HB.</p>					

Ensayo de Impacto CASO 1.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE IMPACTO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EI 1.0
Identificación de componente de estudio:		Probetas EI 1.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	16/05/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO			
Norma aplicable:		ASTM E 23:02	
Temperatura Ambiente:	20°C	Método	Charpy
Energía de impacto:	Joules	Tiempo de ensayo:	10 min
RESULTADO:			
			
No	No de probeta	Energía de Impacto (Joules)	
1	EI 1.1	4.0 Joules	
2	EI 1.2	3.4 Joules	
3	EI 1.3	3.5 Joules	
4	EI 1.4	3.8 Joules	
5	EI 1.5	3.3 Joules	
PROMEDIO:		3.6 Joules	
<ul style="list-style-type: none"> La energía promedio que soportan las probetas sin escorificar ni desgasificar al 0% de SiC es de 3.6 Joules. El menor valor registrado es de 3.3 Joules y el mayor valor es de 4.0 Joules. 			

Ensayo de Tracción CASO 1.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De Laboratorio		Ensayo No.	ET 1.1	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	21/05/1013		
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM				
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas				
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00 , ASTM E 111:97		
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada		
RESULTADO:					
Gráfico Esfuerzo – Deformación 					
RESULTADOS REGISTRADOS:					
Carga máxima:	1487Kg = 3271.4 lb.	Longitud inicial:	2 in		
Longitud Final:	2.034 in	Deformación máxima:	0.034 in		
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.485 in		
RESULTADOS CALCULADOS:					
Resistencia a la tracción (Sut):	16675.31 lb/in ²	% de Elongación:	1.70 %		
Resistencia a la cedencia (Sy):	N/A lb/in ²	% de reducción de área:	6.00 %		
Módulo de Elasticidad:	5314905.89 lb/in ² = 36.65 GPa				
Observaciones: El material se fractura antes de llegar a su límite de cedencia.					



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

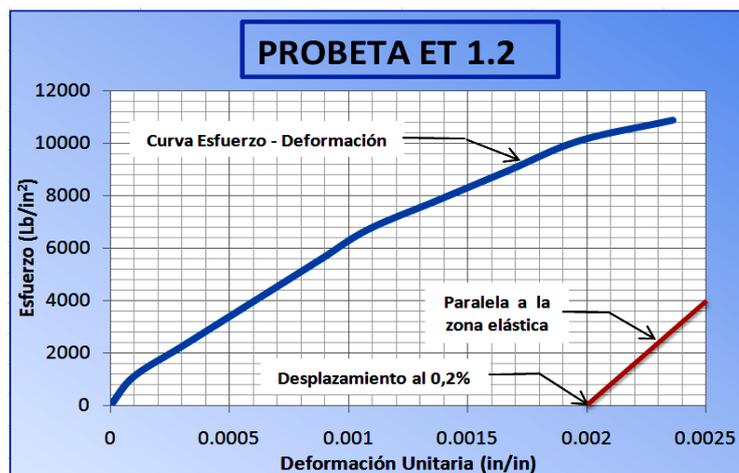
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 1.2
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	21/05/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	969.7Kg = 2133.34 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.031 in	Deformación máxima:	0.031 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.48 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	10867.75 lb/in ²	% de Elongación:	1.55 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	---- lb/in ²	% de reducción de área:	7.79 %
Módulo de Elasticidad:	4645875 lb/in ² = 32.03 Gpa.		

Observaciones:

El material se fractura antes de llegar a su límite de cedencia.



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

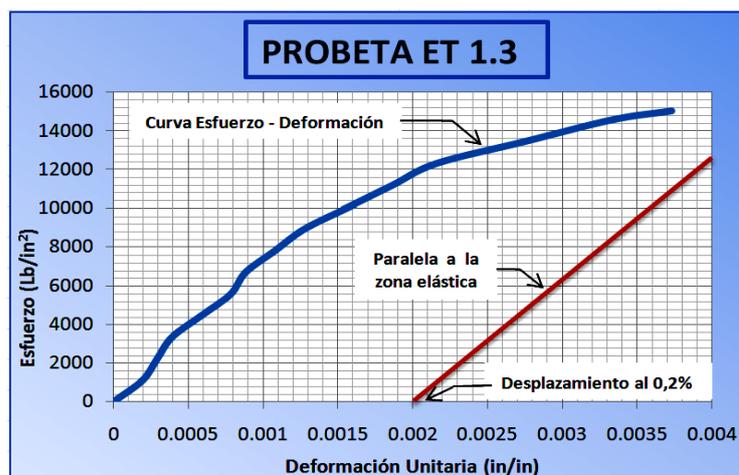
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 1.3
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	21/05/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1339.8Kg = 2947.56 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.036 in	Deformación máxima:	0.036 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.475 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	15015.59 lb/in ²	% de Elongación:	1.8 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	---- lb/in ²	% de reducción de área:	9.73 %
Módulo de Elasticidad:	4063929.24 lb/in ² = 28.02 Gpa.		

Observaciones:

El material se fractura antes de llegar a su límite de cedencia.



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

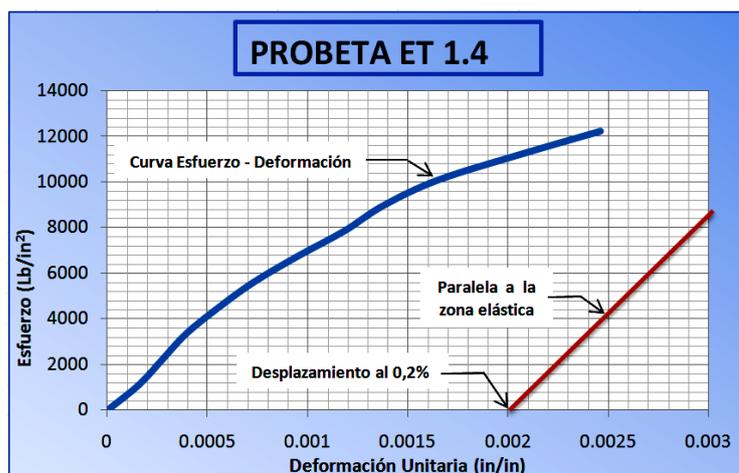
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 1.4
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	21/03/1013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1086 Kg = 2389.2 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.035 in	Deformación máxima:	0.035 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.478 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	12199.92 lb/in ²	% de Elongación:	1.75 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	N/A lb/in ²	% de reducción de área:	8.56 %
Módulo de Elasticidad:	5028585.91 lb/in ² = 34.67 Gpa.		

Observaciones:

El material se fractura antes de llegar a su límite de cedencia.



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

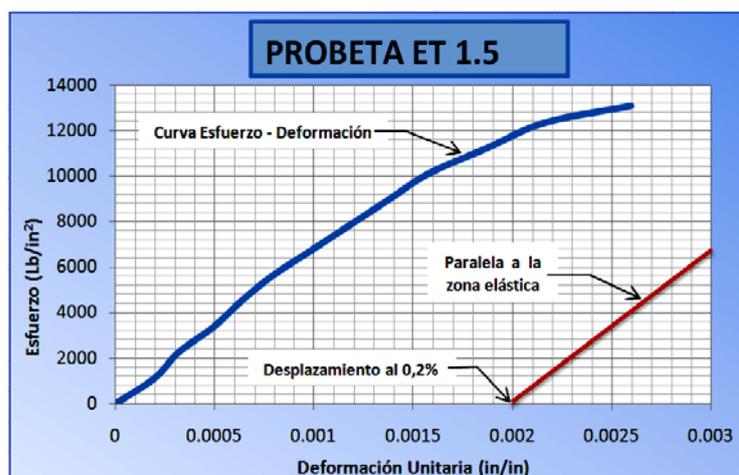
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 1.5
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	21/03/1013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETRO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1339.8 Kg = 2947.56 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.033 in	Deformación máxima:	0.033 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.485 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	13056.55 lb/in ²	% de Elongación:	1.65 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	N/A lb/in ²	% de reducción de área:	5.91 %
Módulo de Elasticidad:	5330140.55 lb/in ² = 36.75 Gpa.		

Observaciones:

El material se fractura antes de llegar a su límite de cedencia.

CASO 2.

Fundición del CASO 2.

Fecha: 22/05/2013 – 04/06/2013

Para la realización del CASO 2 se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salamander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se agrega 19.5 gramos de des escoriante (3%) y 3.23 gramos de desgasificador (0.5%), se mezcla manualmente y se retira la escoria formada.

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

CASO N°	2	Autorizado por:	Ing. Mg. S. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Taller de fundición		Fecha de realización:	22/05/2013	
Hora de inicio de fundición	09H05	Hora de fin de fundición	09H20	Tiempo de fundición	15 min.
Hora de inicio de Ensayo:	09H00	Hora de inicio de Ensayo:	09H45	Tiempo Total de Ensayo:	45 minutos
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	

CONDICIONES DE FUNDICIÓN

Masa de Aluminio	650 gr	Masa de SiC	0 gr	MASA TOTAL	650 gr
% de Al	100%	% de SiC	0%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	NINGUNO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				

PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN

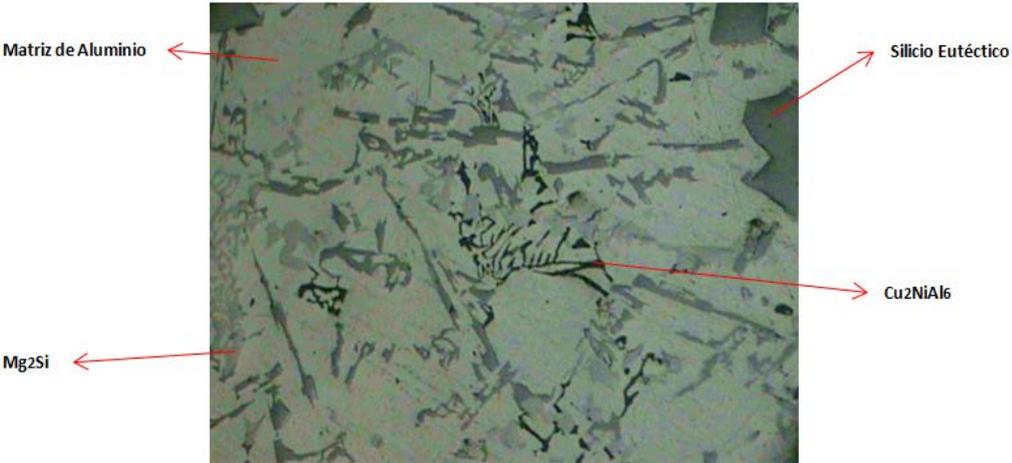
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	800 A.
Temperatura alcanzada:					680 °C.

RESULTADOS OBTENIDOS

- Se elimina totalmente la presencia de escoria en la mezcla.
- Superficie pulida brillante y sin presencia de poros.

Microestructura metalográfica CASO 2.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRÁFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 2.0
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 2.0		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	24/05/1013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido:	20°C	Superficie preparada en:	48 min
Ataque químico de superficie con:	SIN ATAQUE		
RESULTADO:			
			
Microestructura probeta EM 2.0, a 100X, sin ataque.			
OBSERVACIONES:			
Microestructura limpia de poros y escoria.			



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



ENSAYO METALOGRAFICO

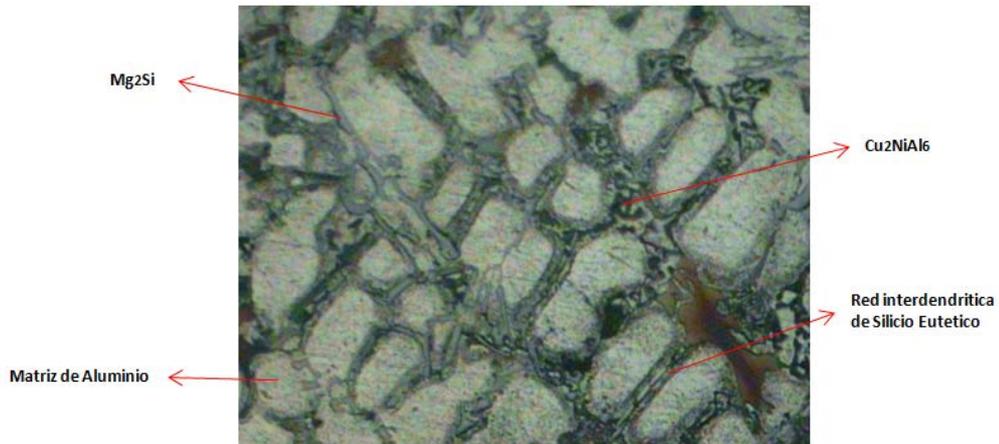
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 2.0
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 2.0		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	24/05/1013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

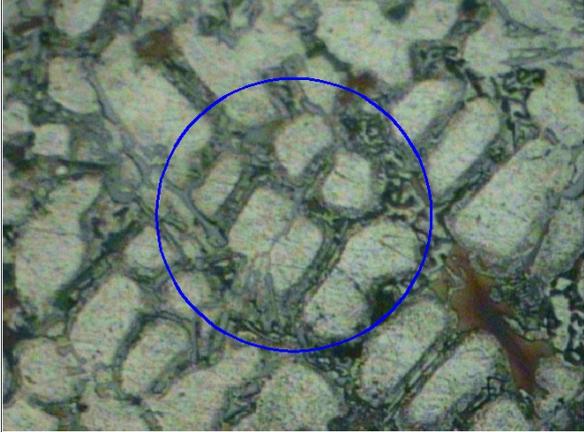
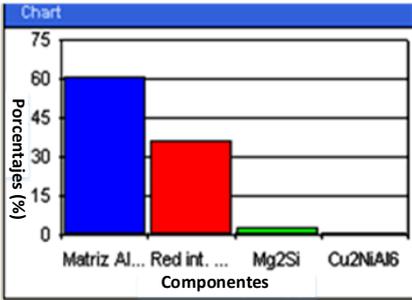
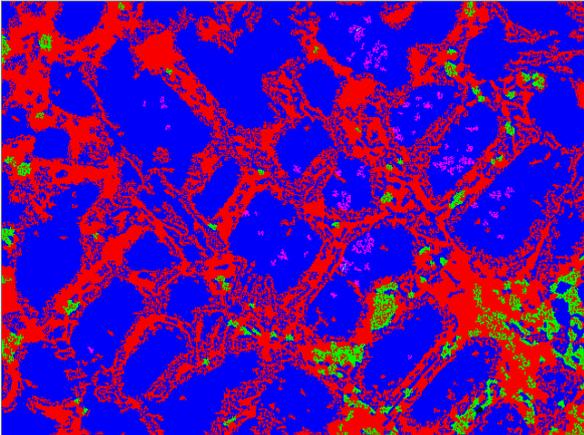
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	48 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	60 seg

RESULTADO:



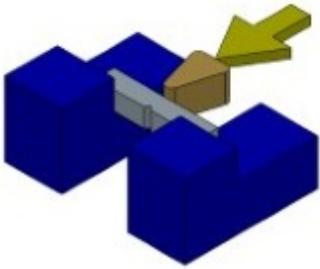
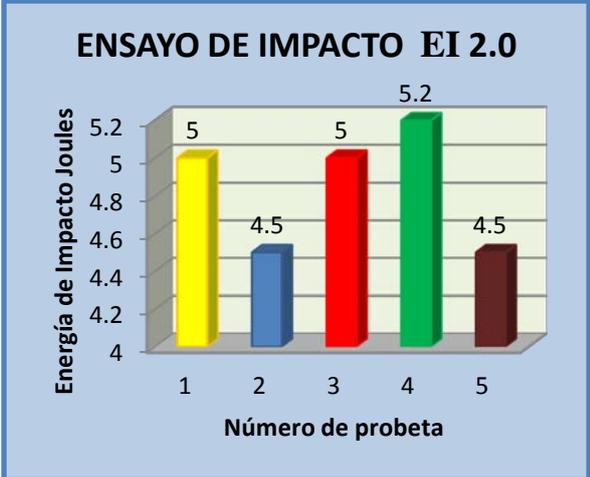
Microestructura probeta EM 2.0, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 45 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA CASO 2												
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: CASO 2										
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x										
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES												
Cálculo:												
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ <p><i>f</i> = 2 por <i>leffries</i> (100x)</p> $NA = 2 \left(7 + \frac{8}{2} \right)$ $NA = 2 * 11 = 21$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(21) - 2.954$ $G = 1.44$												
Tamaño de grano ASTM	1.44											
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X												
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>60,5</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si eutecti</td> <td>35,8</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3,0</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>0,7</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	60,5	Red int. Si eutecti	35,8	Mg2Si	3,0	Cu2NiAl6	0,7	
Componentes	Porcentajes (%)											
Matriz Aluminio	60,5											
Red int. Si eutecti	35,8											
Mg2Si	3,0											
Cu2NiAl6	0,7											
<ul style="list-style-type: none"> Revisada la microestructura del CASO 2 se puede indicar que los componentes de la aleación son: 60.5% de Matriz de Aluminio, 35.8% de Red interdendrítica de Silicio, 3% de Mg2Si Y 0.7% de Cu2NiAl6. 												

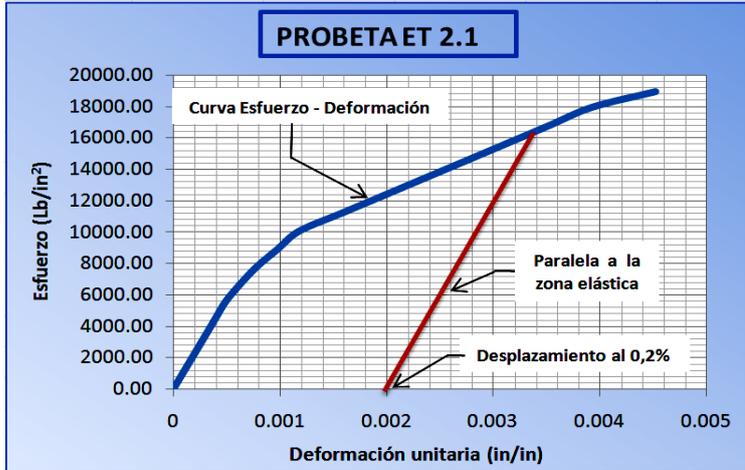
Ensayo de Dureza CASO 2.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ED 2.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta ED 2.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	28/05/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
Norma aplicable:		ASTM E 10:01	
Temperatura Ambiente:	20°C	Tipo de Identador:	Bola de 2.5mm
Valor de carga aplicada:	612.9 N	Tiempo de ensayo:	18 min
RESULTADO:			
Fórmula de Cálculo: $D = 2.5 \text{ mm}$ $d = (\text{Huella mm})$ $P = \text{Carga} = (612.9\text{N}) = 62.5\text{Kg}$ $HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ $= \frac{2(62.5)}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$ $= \frac{125}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$	No de huella	Diámetro huella(d) (mm)	Dureza Brinell HB
	ED 2.1	0.890 mm	97.17 HB
	ED 2.2	0.900 mm	94.95 HB
	ED 2.3	0.910 mm	92.80 HB
	ED 2.4	0.895 mm	96.05 HB
	ED 2.5	0.890 mm	97.17 HB
	ED 2.6	0.900 mm	94.95 HB
	ED 2.7	0.900 mm	94.95 HB
	ED 2.8	0.910 mm	92.80 HB
	ED 2.9	0.900 mm	94.95 HB
	ED 2.10	0.910 mm	92.80 HB
Dureza Brinell promedio:			94.86 HB
<p>La Dureza promedio que soportan las probetas escoriñcadas y desgasificadas al 0% de SiC es de 94.86 HB. El menor valor registrado es de 92.80 HB y el mayor valor es de 97.17HB.</p>			

Ensayo de Impacto CASO 2.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE IMPACTO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De Laboratorio			Ensayo No.	EI 2.0
Identificación de componente de estudio:				Probetas EI 2.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	30/05/2013		
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM			
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO					
Norma aplicable:			ASTM E 23:02		
Temperatura Ambiente:	20°C		Método	Charpy	
Energía de impacto:	Joules		Tiempo de ensayo:	5 min	
RESULTADO:					
					
No	No de probeta	Energía de Impacto (Joules)			
1	EI 2.1	5.0 Joules			
2	EI 2.2	4.5 Jolues			
3	EI 2.3	5.0 Joules			
4	EI 2.4	5.2 Joules			
5	EI 2.5	4.5 Joules			
PROMEDIO:		4.84 Joules			
<p>La energía promedio que soportan las probetas escoriificadas y desgasificadas al 0% de SiC es de 4.84 Joules. El menor valor registrado es de 4.5 Joules y el mayor valor es de 5.2 Joules.</p>					

Ensayo de Tracción CASO 2.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 2.1
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	04/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada
RESULTADO:			
Gráfico Esfuerzo – Deformación 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Carga máxima:	1686.5 Kg = 3710.3 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.045 in	Deformación máxima:	0.045 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.472 in
RESULTADOS CALCULADOS:			
Resistencia a la tracción (S _{ut}):	18896.40 lb/in ²	% de Elongación:	2.25 %
Resistencia a la cedencia (S _y):	16200 lb/in ²	% de reducción de área:	10.85 %
Módulo de Elasticidad:	3971157.54 lb/in ² = 27.38 Gpa.		
Observaciones:			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

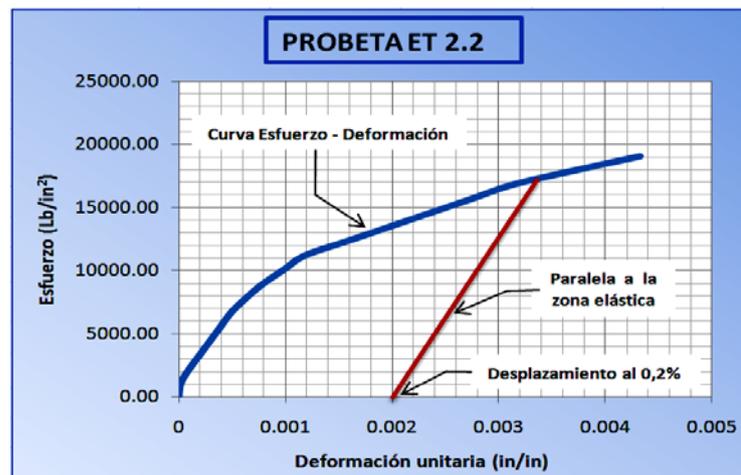
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 2.2
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	04/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1694.5 Kg = 3727.9 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.043 in	Deformación máxima:	0.043 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.478 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	18986.04 lb/in ²	% de Elongación:	2.15 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17100 lb/in ²	% de reducción de área:	8.56 %
Módulo de Elasticidad:	4158997.29 lb/in ² = 28.68 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

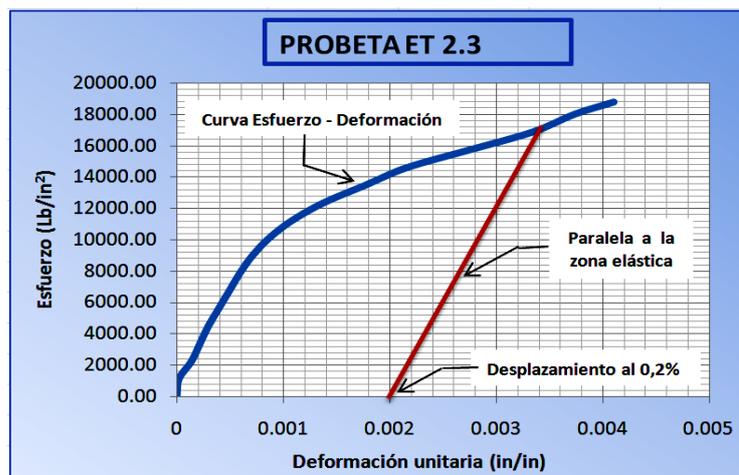
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 2.3
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	04/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1668.5 Kg = 3670.7 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.044 in	Deformación máxima:	0.044 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.472 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	18694.72 lb/in ²	% de Elongación:	2.2 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17100 lb/in ²	% de reducción de área:	10.9 %
Módulo de Elasticidad:	4148253.02 lb/in ² = 28.6 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

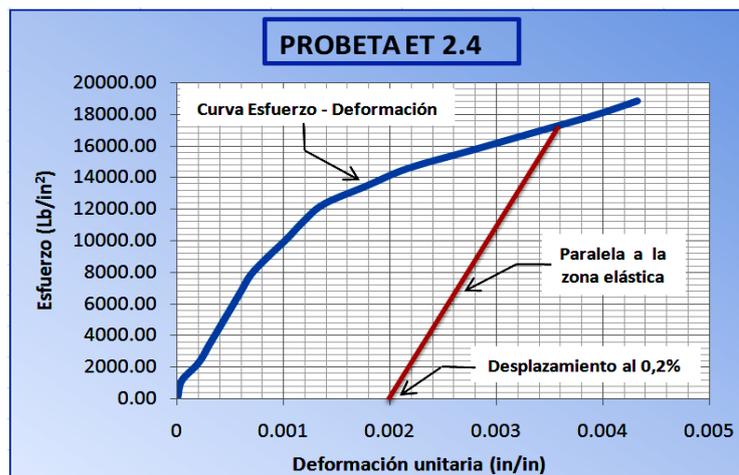
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 2.4
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	04/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1678 Kg = 3691.6 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.04 in	Deformación máxima:	0.04 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.472 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	18801.16 lb/in ²	% de Elongación:	2.0 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17300 lb/in ²	% de reducción de área:	10.85 %
Módulo de Elasticidad:	4098120.816 lb/in ² = 28.26 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

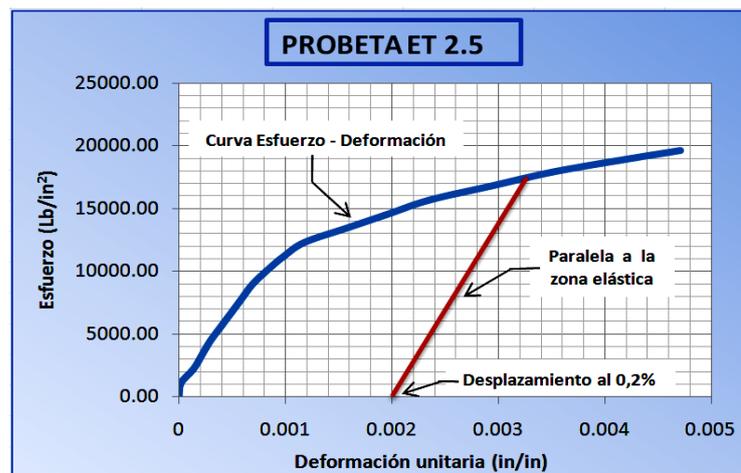
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 2.5
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	04/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1746.7 Kg = 3842.74 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.042 in	Deformación máxima:	0.042 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.473 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19570.91 lb/in ²	% de Elongación:	2.1 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17300 lb/in ²	% de reducción de área:	10.49 %
Módulo de Elasticidad:	3879761.75 lb/in ² = 26.75 Gpa.		

Observaciones:

Ensayo A Desgaste Adhesivo CASO 2.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div>  </div>						
ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO						
						
Datos Informativos:						
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Metalografía de Materiales - FICM			
Tipo de estudio:	De laboratorio		Ensayo N°	EDA 01		
Solicitado por:	Ing. Mg. Henry Vaca		Realizado por:	Luis Santana		
Supervisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca		Fecha Inicio:	20/01/2014		
Normas Aplicables:	ASTM G83-96		Fecha Finalización:	20/01/2014		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento "B"	Fuerza Aplicada			Revoluciones (rev)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)
	(N)	(Kgf)	(lb)			
	71.2	7.26	16	40,000	400	100
	Tolerancia 3%			Tolerancia 2%		
Identificación del componente de estudio:						
Probeta Estática	Material:	Aluminio Fundido		Designación :	DIN A312F	
	Densidad:	2.7	gr/cm ³	Dureza:	94.86	HB
	Longitud:	80.3	mm	Diámetro:	12.7	mm
	DUREZA:			32.59	Kg/mm ²	
Probeta Móvil	Material:	Aluminio Fundido		Designación :	DIN A312F	
	Densidad:	2.7	gr/cm ³	Dureza:	94.86	HB
	Longitud:	85.4	mm	Diámetro:	12.7	mm
	DUREZA:			32.59	Kg/mm ²	
Tipo de aparato:	Cilindros Cruzados					
Tipo de movimiento:	Deslizamiento Simple					
Tipo de lubricación:	Seca (sin lubricación)					
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico					
Rugosidad de la superficie:	Lisa		Limpieza:	Alcohol Etflico		
Observaciones						
Los datos expuestos fueron obtenidos del catalogo de IVAN BOHMAN C.A						
RESULTADO:						



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



ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO DEL ALUMINIO FUNDIDO,

PROCEDIMIENTO B

Lugar de Realización:	Laboratorio de materiales	Flujo de aire del medio:	Estático
T. ambiente del lugar:	20 °C	Realizado por:	Luis Santana
Fecha:	20/01/2014	Hora Inicio:	2:00:00 PM
Tiempo promedio:	100 minutos	Hora Final:	3:40:00 PM
Fuerza real aplicada:	7.2658 Kgf	Velocidad promedio:	400 RPM
Probeta Estática			
Material:	AISI	A322F	
Densidad:	2.70	gr/cm ³	
Dureza:	32.59	Kg/mm ²	
Masa Inicial (mi):	27.4621	Gr	
Masa Final (mo):	27.4443	Gr	
Desgaste (Dm):	0.0178	gr.	
Probeta Móvil			
Material:	AISI	A322F	
Densidad:	2.70	gr/cm ³	
Dureza:	32.59	Kg/mm ²	
Masa Inicial (mi):	29.2608	gr	
Masa Final (mo):	28.8629	gr	
Desgaste (Dm):	0.3980	gr.	
Desgaste Total:	415.8 mg.	Volumen material perdido $\Sigma\Delta m$:	153.9877 mm ³
Distancia deslizada (L) :	1595932.80 mm	Velocidad de desgaste (Vd):	1.5713 mm ³ /min
Valor K Experimental:		4.33E-04	
Observaciones:			

CASO 3.

Fundición del CASO 3.

Fecha: 05/06/2013 – 18/06/2013

Para la realización del CASO 3 Para la realización de la décima prueba se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se agrega 19.5 gramos de escorificador (3%) y 3.23 gramos de desgasificador (0.5%), se mezcla manualmente y se retira la escoria formada, añadimos 12.92 gramos de carburo de silicio (2%) precalentado previamente a 550°C dosificando una ración de 0.5 gramos (aprox.) intercalada cada 2 segundos al mismo tiempo que se revuelve con la mezcladora mecánica (Stir Casting) de 4 paletas inclinadas a 90° de 4cm por 5.5 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador a 400 RPM durante 8 minutos. (Eje ½ pulgada).

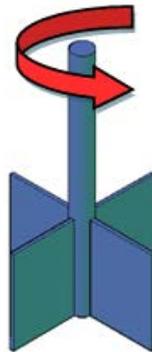


Figura 4.5 Mezclador 4 paletas verticales. 4 x 5.5cm.

Fuente: Autor

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

CASO N°	3	Autorizado por:	Ing. Mg. S. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Taller de fundición		Fecha de realización:	05/06/2013	
Hora de inicio de fundición	09H00	Hora de fin de fundición	09H15	Tiempo de fundición	de 15 min.
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	

CONDICIONES DE FUNDICIÓN

Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	12.92 gr	MASA TOTAL	658.92 gr
% de Al	100%	% de SiC	2%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	MECÁNICO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				

PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN

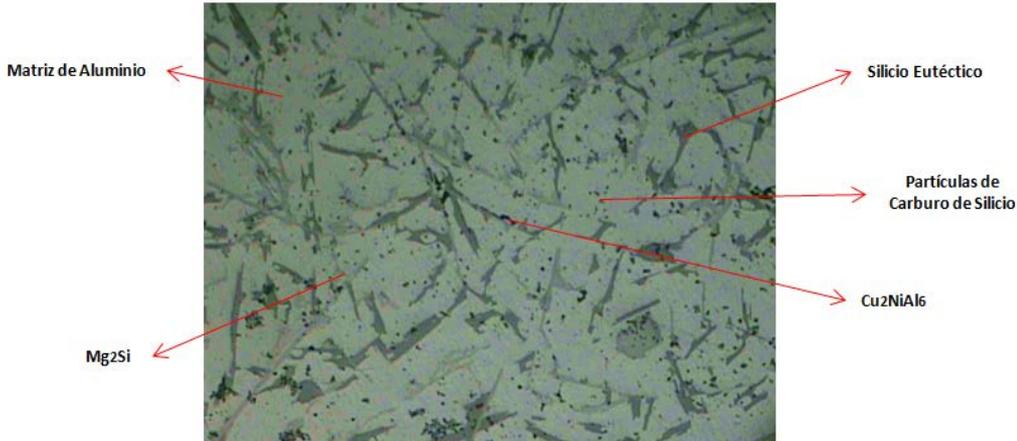
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	800 A.
				Temperatura alcanzada:	670 °C.

RESULTADOS OBTENIDOS

- Se obtiene el compuesto deseado con un 2% de SiC.

Microestructura metalográfica CASO 3.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 3.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 3.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	10/06/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:	SIN ATAQUE		
RESULTADO:			
			
Microestructura probeta EM 3.0, a 100X, sin ataque.			
OBSERVACIONES:			



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



ENSAYO METALOGRAFICO

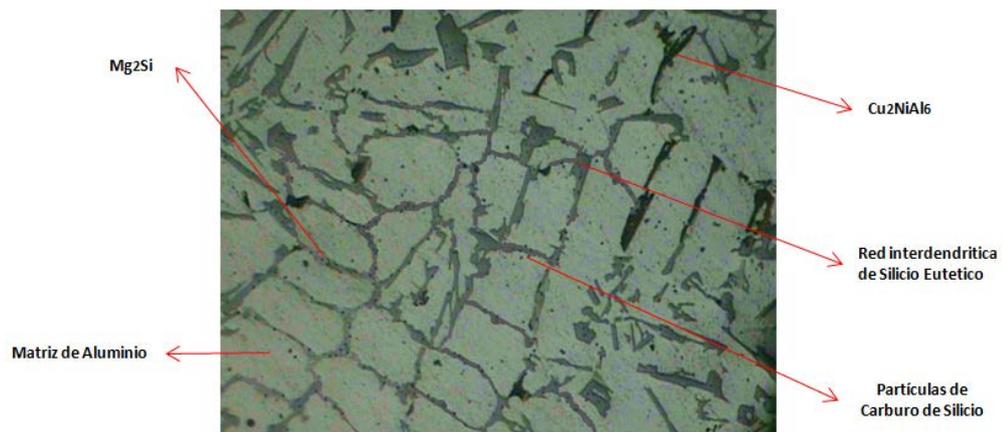
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 3.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 3.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	10/06/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis F. Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	45 seg

RESULTADO:



Microestructura probeta EM 3.0, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 30 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA CASO 3

Determinación del tamaño de grano	Microestructura: CASO 3
--	-------------------------

Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x
----------------	---------------	---------------------

PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES

Cálculo:

$$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$$

$f = 2$ por ley de Jeffries (100x)

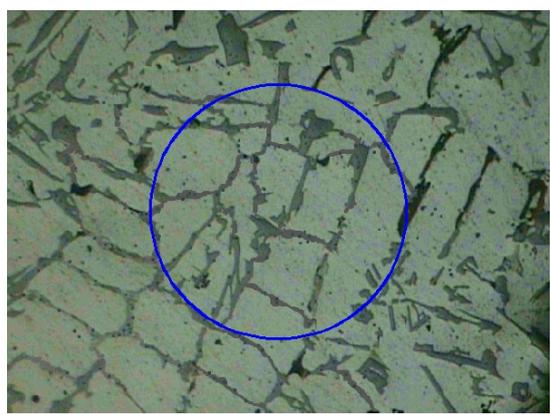
$$NA = 2 \left(6 + \frac{9}{2} \right)$$

$$NA = 2 * 10.5 = 21$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

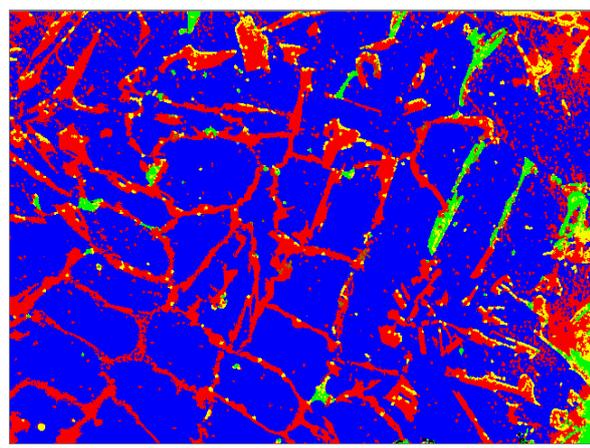
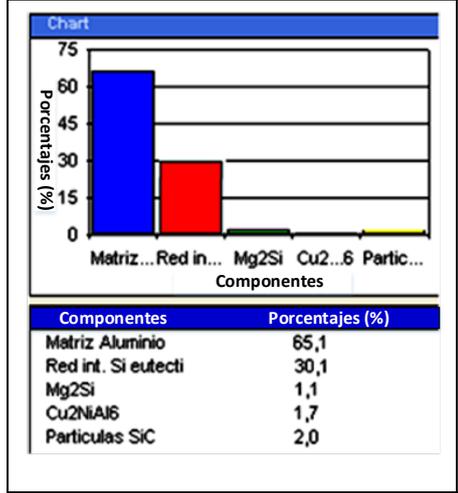
$$G = 3,321918 * \log(21) - 2.954$$

$$G = 1.44$$



Tamaño de grano ASTM	1.44
-----------------------------	-------------

COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X

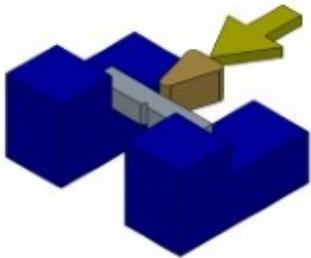
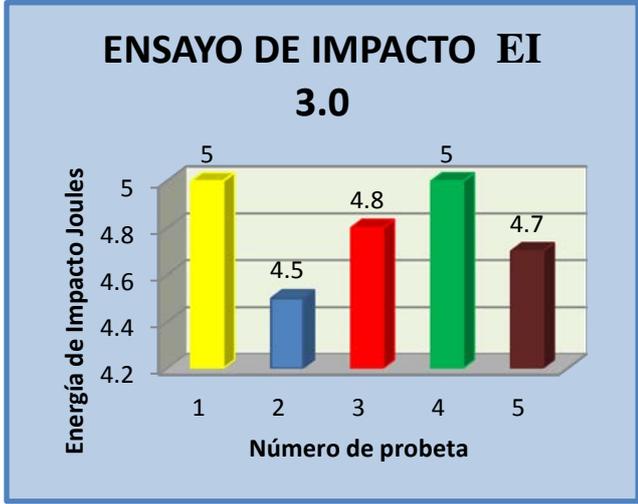


- Revisada la microestructura del CASO 3 se puede indicar que los componentes del compuesto son: 65.1% de Matriz de Aluminio, 30.1% de Red Interdendrítica de Silicio, 1.1% de Mg2Si, 1.7% de Cu2NiAl6 y 2% de Partículas de Carburo de Silicio.

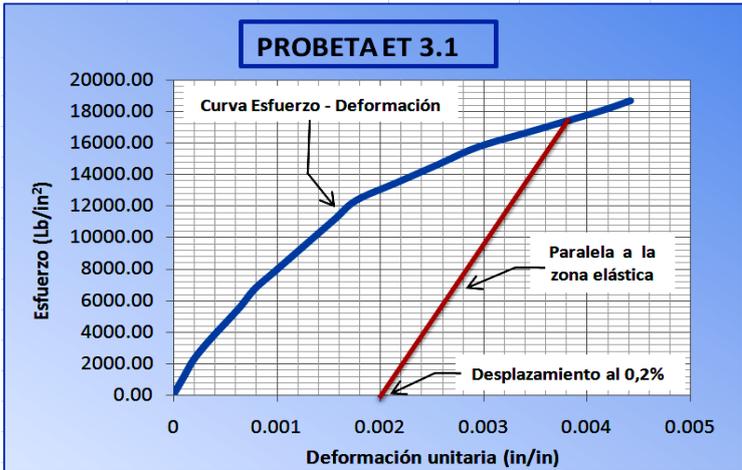
Ensayo de Dureza CASO 3.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ED 3.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta ED 3.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	12/06/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
Norma aplicable:		ASTM E 10:01	
Temperatura Ambiente:	20°C	Tipo de Identador:	Bola de 2.5mm
Valor de carga aplicada:	612.9 N	Tiempo de ensayo:	18 min
RESULTADO:			
Fórmula de Cálculo: $D = 2.5 \text{ mm}$ $d = (\text{Huella mm})$ $P = (612.9\text{N}) = 62.5\text{Kg}$ $HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ $= \frac{2(62.5)}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$ $= \frac{125}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$	No de huella	Diámetro huella(d)	Dureza Brinell HB
	ED 3.1	0.90 mm	94.95 HB
	ED 3.2	0.89 mm	97.17 HB
	ED 3.3	0.89 mm	97.17 HB
	ED 3.4	0.91 mm	92.80 HB
	ED 3.5	0.89 mm	97.17 HB
	ED 3.6	0.91 mm	92.80 HB
	ED 3.7	0.88 mm	99.47 HB
	ED 3.8	0.90 mm	94.95 HB
	ED 3.9	0.86 mm	104.31 HB
	ED 3.10	0.90 mm	94.95 HB
Dureza Brinell promedio:			96.58 HB
<p>La Dureza promedio que soportan las probetas escoriñicadas y desgasificadas al 2% de SiC es de 96.58 HB. El menor valor registrado es de 92.80 HB y el mayor valor es de 104.31 HB.</p>			

Ensayo de Impacto CASO 3.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE IMPACTO					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De Laboratorio		Ensayo No.	EI 3.0	
Identificación de componente de estudio:			Probetas EI 3.0		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	14/06/2013		
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM			
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO					
Norma aplicable:			ASTM E 23:02		
Temperatura Ambiente:	20°C		Método	Charpy	
Energía de impacto:	Joules		Tiempo de ensayo:	5 min	
RESULTADO:					
					
No	No de probeta	Energía de Impacto (Joules)			
1	EI 3.1	5.0 Joules			
2	EI 3.2	4.5 Joules			
3	EI 3.3	4.8 Joules			
4	EI 3.4	5.0 Joules			
5	EI 3.5	4.7 Joules			
PROMEDIO:		4.80 Joules			
<p>La energía promedio que soportan las probetas escoriñicadas y desgasificadas al 2% de SiC es de 4.80 Joules. El menor valor registrado es de 4.5 Joules y un mayor valor es de 5.0 Joules.</p>					

Ensayo de Tracción CASO 3.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 3.1
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	18/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada
RESULTADO:			
Gráfico Esfuerzo – Deformación 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Carga máxima:	1658 Kg = 3647.5 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.036 in	Deformación máxima:	0.036 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.48 in
RESULTADOS CALCULADOS:			
Resistencia a la tracción (Sut):	18577.1 lb/in ²	% de Elongación:	1.8 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17400 lb/in ²	% de reducción de área:	8.03 %
Módulo de Elasticidad:	4097583.25 lb/in ² = 28.25 Gpa.		
Observaciones:			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

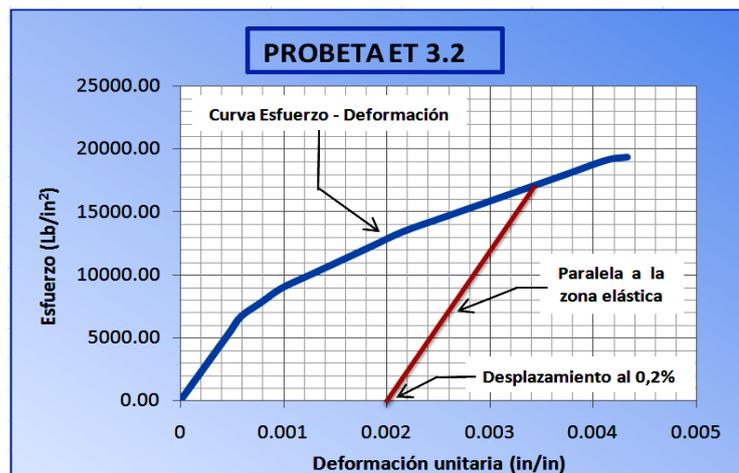
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 3.2
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	18/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1720 Kg = 3784 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.041 in	Deformación máxima:	0.041 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.476 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19271.8 lb/in ²	% de Elongación:	2.05 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17100 lb/in ²	% de reducción de área:	9.32 %
Módulo de Elasticidad:	4164541.97 lb/in ² = 28.71 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

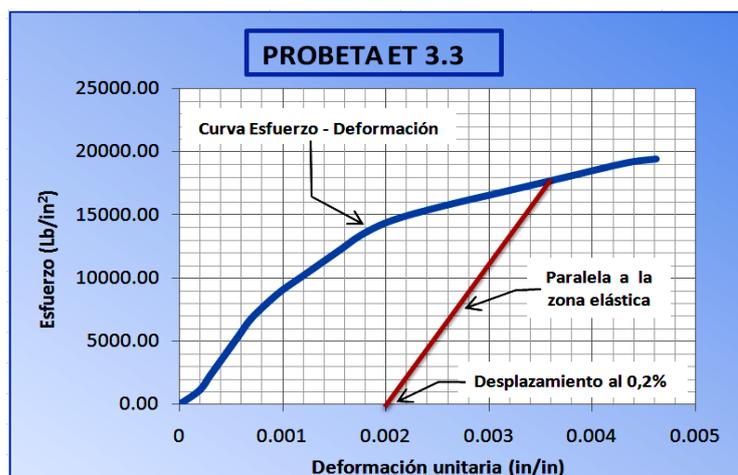
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 3.3
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	18/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1728 Kg = 3801.6 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.038 in	Deformación máxima:	0.038 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.476 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19361.39 lb/in ²	% de Elongación:	1.9 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17800 lb/in ²	% de reducción de área:	9.32 %
Módulo de Elasticidad:	4106561.17 lb/in ² = 28.31 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

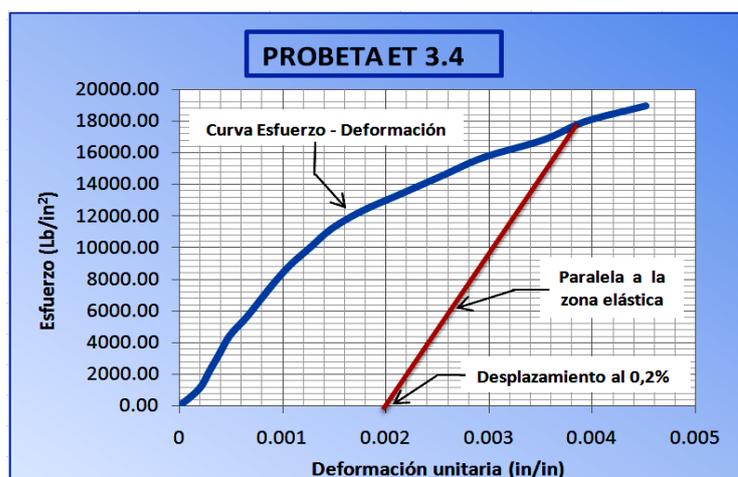
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 3.4
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	18/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1687 Kg = 3711.4 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.036 in	Deformación máxima:	0.036 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.478 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	18902.01 lb/in ²	% de Elongación:	1.8 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17800 lb/in ²	% de reducción de área:	8.56 %
Módulo de Elasticidad:	4149563.99 lb/in ² = 28.6 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

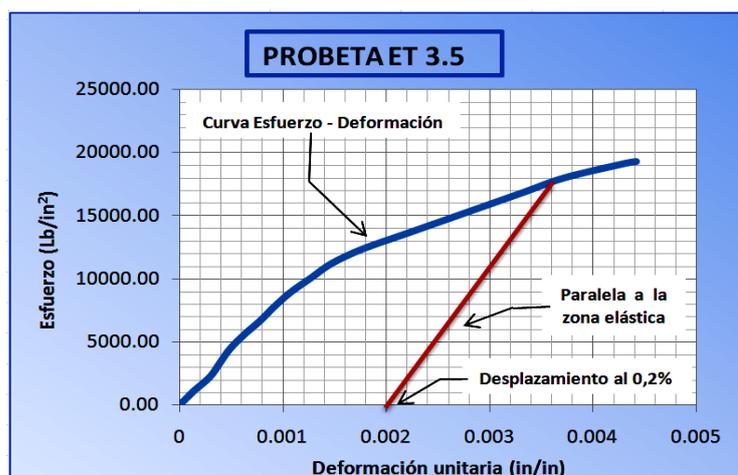
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 3.5
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	18/06/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1711.3 Kg = 3764.9 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.037 in	Deformación máxima:	0.037 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.474 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19174.28 lb/in ²	% de Elongación:	1.85 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17800 lb/in ²	% de reducción de área:	10.09 %
Módulo de Elasticidad:	4165127 lb/in ² = 28.72 Gpa.		

Observaciones:

CASO 4.

Fundición del CASO 4.

Fecha: 19/06/2013 – 02/07/2013

Para la realización del CASO 4 se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salamander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se agrega 19.5 gramos de escorificador (3%) y 3.23 gramos de desgasificador (0.5%), se mezcla manualmente y se retira la escoria formada, añadimos 19.38 gramos de carburo de silicio (3%) precalentado previamente a 550°C dosificando una ración de 0.5 gramos (aprox.) intercalada cada 2 segundos al mismo tiempo que se revuelve con la mezcladora mecánica (Stir Casting) de 4 paletas inclinadas a 90° de 4cm por 5.5 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador a 400 RPM durante 8 minutos. (Eje ½ pulgada).

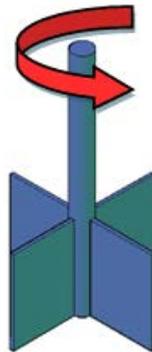


Figura 4.5 Mezclador 4 paletas verticales. 4 x 5.5cm.

Fuente: Autor

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

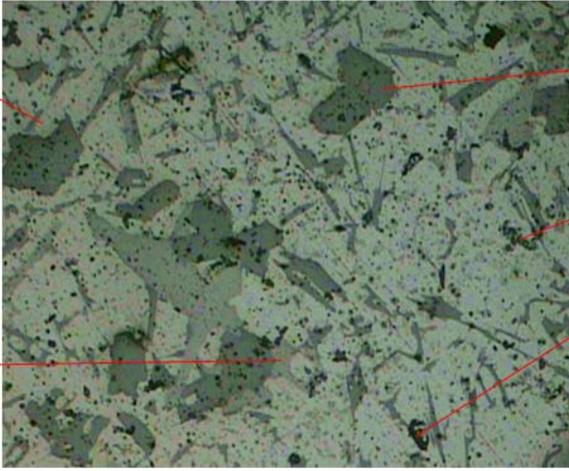
CASO N°	4	Autorizado por:	Ing. Mg. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Aula de fundición		Fecha de realización:	21/06/2013	
Hora de inicio de fundición	09H00	Hora de fin de fundición	09H15	Tiempo de fundición	15 min.
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	
CONDICIONES DE FUNDICIÓN					
Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	19.38 gr	MASA TOTAL	665.38 gr
% de Al	100%	% de SiC	2%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	MECÁNICO	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				
PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN					
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	800 A.
Temperatura alcanzada:				670 °C.	

RESULTADOS OBTENIDOS

- Se obtiene el compuesto deseado con un 3% de SiC.

Microestructura metalográfica CASO 4.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 4.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 4.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	24/06/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE	
RESULTADO:			
			
Microestructura probeta EM 4.0, a 100X, sin ataque.			
OBSERVACIONES:			



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



ENSAYO METALOGRAFICO

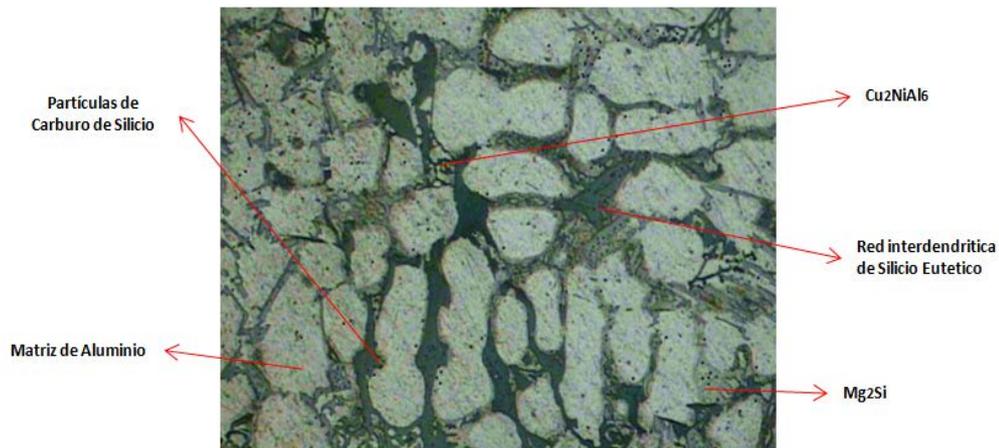
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 4.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 4.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	24/06/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

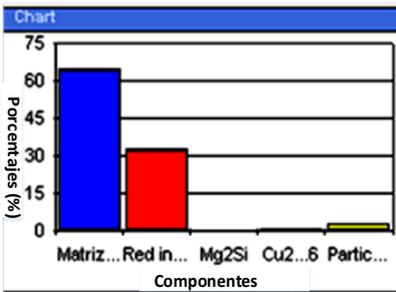
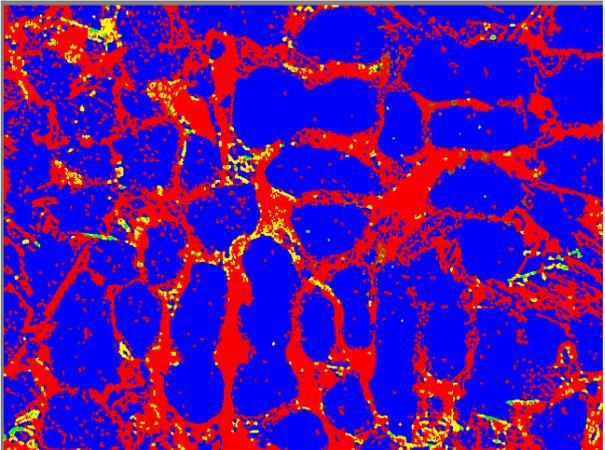
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	45 seg

RESULTADO:



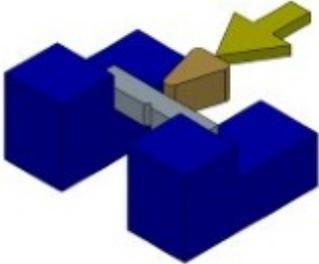
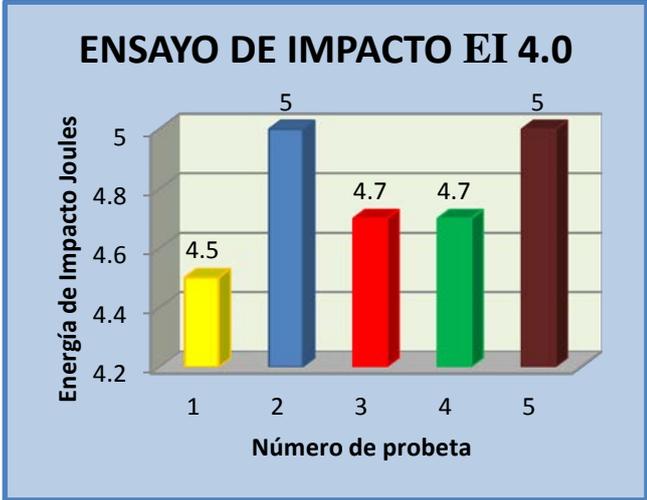
Microestructura probeta EM 4.0, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 35 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA CASO 4														
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: CASO 4												
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x												
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES														
Cálculo:														
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ por lef fries (100x)}$ $NA = 2 \left(6 + \frac{10}{2} \right)$ $NA = 2 * 11 = 22$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(22) - 2.954$ $G = 1.505$														
Tamaño de grano ASTM	1.51													
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X														
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>64,5</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si eutecti</td> <td>32,3</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>Particulas SiC</td> <td>2,9</td> </tr> </tbody> </table>		Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	64,5	Red int. Si eutecti	32,3	Mg2Si	0,2	Cu2NiAl6	0,7	Particulas SiC	2,9	
Componentes	Porcentajes (%)													
Matriz Aluminio	64,5													
Red int. Si eutecti	32,3													
Mg2Si	0,2													
Cu2NiAl6	0,7													
Particulas SiC	2,9													
<p>Revisada la microestructura del CASO 4 se puede indicar que los componentes del compuesto son: 64.5% de Matriz de Aluminio, 32.3% de Red interdendrítica de Silicio, 0.2% de Mg₂Si, 0.7% de Cu₂NiAl₆ y 2.9% de Partículas de Carburo de Silicio.</p>														

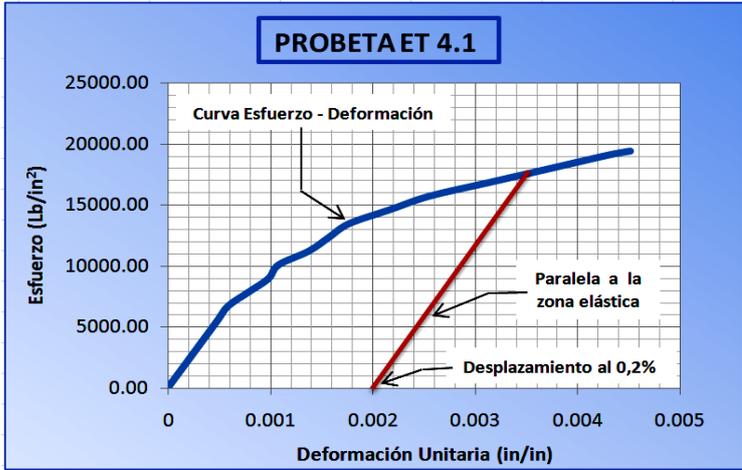
Ensayo de Dureza CASO 4.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ED 4.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta ED 4.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	25/03/1013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
Norma aplicable:		ASTM E 10:01	
Temperatura Ambiente:	20°C	Tipo de Identador:	Bola de 2.5mm
Valor de carga aplicada:	612.9 N	Tiempo de ensayo:	18 min
RESULTADO:			
Fórmula de Cálculo: $D = 2.5 \text{ mm}$ $d = (\text{Huella mm})$ $P = (612.9\text{N}) = 62.5\text{Kg}$ $HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ $= \frac{2(62.5)}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$ $= \frac{125}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$	No de huella	Diámetro huella(d)	Dureza Brinell HB
	ED 4.1	0.89 mm	97.17 HB
	ED 4.2	0.88 mm	99.47 HB
	ED 4.3	0.89 mm	97.17 HB
	ED 4.4	0.91 mm	92.80 HB
	ED 4.5	0.89 mm	97.17 HB
	ED 4.6	0.89 mm	97.17 HB
	ED 4.7	0.87 mm	101.85 HB
	ED 4.8	0.90 mm	94.95 HB
	ED 4.9	0.88 mm	99.47 HB
	ED 4.10	0.90 mm	94.95 HB
Dureza Brinell promedio:			97.22 HB
<p>La Dureza promedio que soportan las probetas escoriñcadas y desgasificadas al 3% de SiC es de 97.22 HB. El menor valor registrado es de 92.80 HB y el mayor valor es de 101.85 HB.</p>			

Ensayo de Impacto CASO 4.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EI 4.0
Identificación de componente de estudio:		Probetas EI 4.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	27/06/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO			
Norma aplicable:		ASTM E 23:02	
Temperatura Ambiente:	20°C	Método	Charpy
Energía de impacto:	Joules	Tiempo de ensayo:	5 min
RESULTADO:			
			
			
No	No de probeta	Energía de Impacto (Joules)	
1	EI 4.1	4.5 Joules	
2	EI 4.2	5.0 Joules	
3	EI 4.3	4.7 Joules	
4	EI 4.4	4.7 Joules	
5	EI 4.5	5.0 Joules	
PROMEDIO:		4.78 Joules	
<p>La energía promedio que soportan las probetas escoriñicadas y desgasificadas al 3% de SiC es de 4.78 Joules. El menor valor registrado es de 4.5 Joules y el mayor valor es de 5.0 Joules.</p>			

Ensayo de Tracción CASO 4.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 4.1
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	02/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada
RESULTADO:			
Gráfico Esfuerzo – Deformación 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Carga máxima:	1725.4 Kg = 3795.88 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.037 in	Deformación máxima:	0.037 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.476 in
RESULTADOS CALCULADOS:			
Resistencia a la tracción (Sut):	19332.26 lb/in ²	% de Elongación:	1.85 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17700 lb/in ²	% de reducción de área:	9.40 %
Módulo de Elasticidad:	4069974.89 lb/in ² = 28.06 Gpa.		
Observaciones:			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

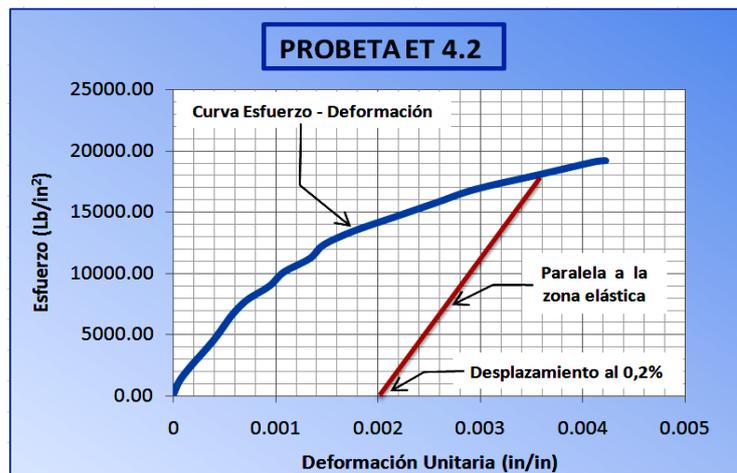
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 4.2
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	02/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1706.7 Kg = 3754.74 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.035 in	Deformación máxima:	0.035 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.482 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19122.73 lb/in ²	% de Elongación:	1.75 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17800 lb/in ²	% de reducción de área:	7.03 %
Módulo de Elasticidad:	4298148.5 lb/in ² = 29.64 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

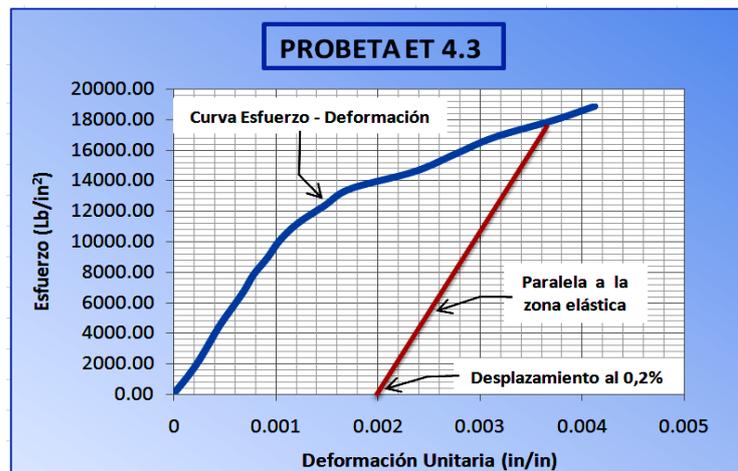
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 4.3
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	02/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1678.9 Kg = 3693.58 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.034 in	Deformación máxima:	0.034 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.481 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	18811.25 lb/in ²	% de Elongación:	1.7 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17800 lb/in ²	% de reducción de área:	7.44 %
Módulo de Elasticidad:	4409852.17 lb/in ² = 30.41 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

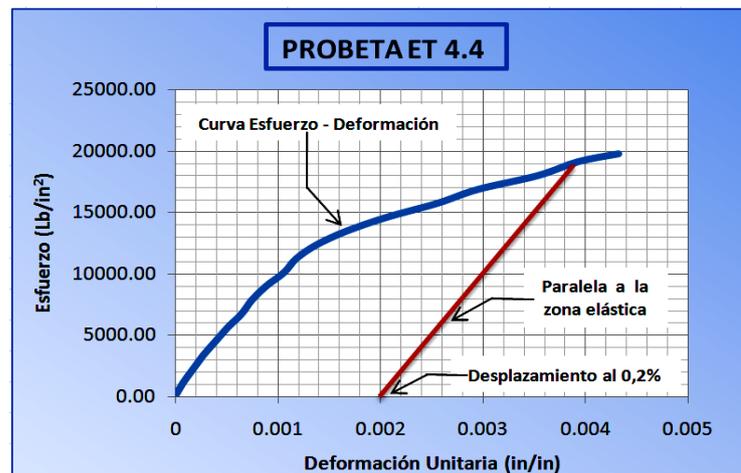
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 4.4
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	02/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1755.8 Kg = 3862.76 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.035 in	Deformación máxima:	0.035 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.478 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19672.88 lb/in ²	% de Elongación:	1.75 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	18800 lb/in ²	% de reducción de área:	8.56 %
Módulo de Elasticidad:	4356908.24 lb/in ² = 30.04 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

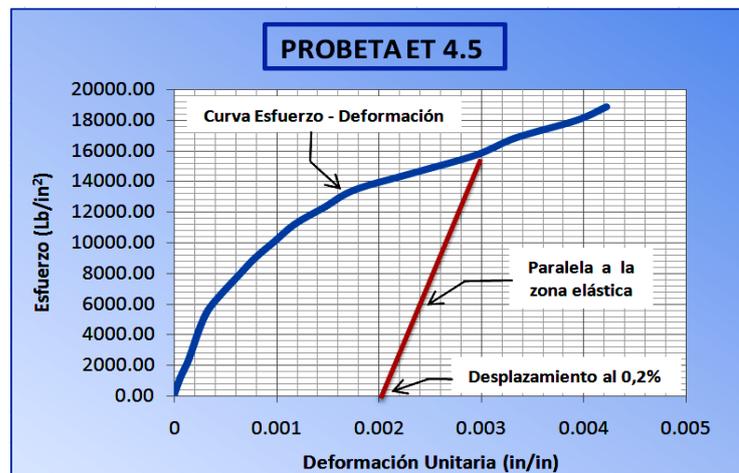
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 4.5
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	02/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1678 Kg = 3691.6 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.037 in	Deformación máxima:	0.037 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.476 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	18801.16 lb/in ²	% de Elongación:	1.85 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	15900 lb/in ²	% de reducción de área:	9.32 %
Módulo de Elasticidad:	4017368.25 lb/in ² = 27.7 Gpa.		

Observaciones:

CASO 5.

Fundición del CASO 5.

Fecha: 03/07/2013 – 15/07/2013

Para la realización del CASO 5 se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salamander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se agrega 19.5 gramos de escorificador (3%) y 3.23 gramos de desgasificador (0.5%), se mezcla manualmente y se retira la escoria formada, añadimos 25.84 gramos de carburo de silicio (4%) precalentado previamente a 550°C dosificando una ración de 0.5 gramos (aprox.) intercalada cada 2 segundos al mismo tiempo que se revuelve con la mezcladora mecánica (Stir Casting) de 4 paletas inclinadas a 90° de 4cm por 5.5 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador a 400 RPM durante 8 minutos. (Eje ½ pulgada).



Figura 4.5 Mezclador 4 paletas verticales. 4 x 5.5cm.

Fuente: Autor

Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

CASO N°	5	Autorizado por:	Ing. Mg. Espín	Realizado por:	L. Santana
Lugar de realización:	Taller de fundición		Fecha de realización:	03/07/2013	
Hora de inicio de fundición	09H00	Hora de fin de fundición	09H15	Tiempo de fundición	15 min.
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	

CONDICIONES DE FUNDICIÓN

Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	25.84 gr	MASA TOTAL	671.84 gr
% de Al	100%	% de SiC	0%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	NINGUNA	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				

PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN

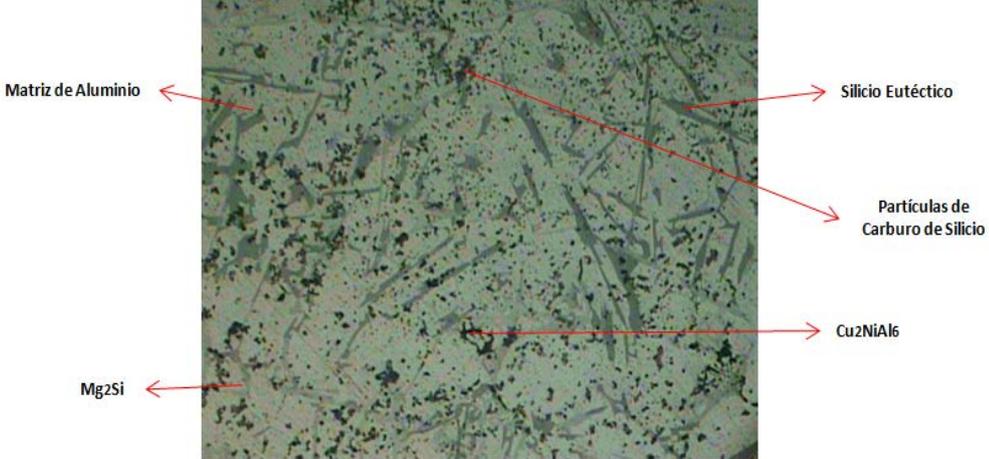
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	790 A.
Temperatura alcanzada:					670 °C.

RESULTADOS OBTENIDOS

- Se obtiene el compuesto deseado con un 4% de SiC.

Microestructura metalográfica CASO 5.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 5.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 5.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	08/07/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE	
RESULTADO:			
			
Microestructura probeta EM 5.0, a 100X, sin ataque.			



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



ENSAYO METALOGRAFICO

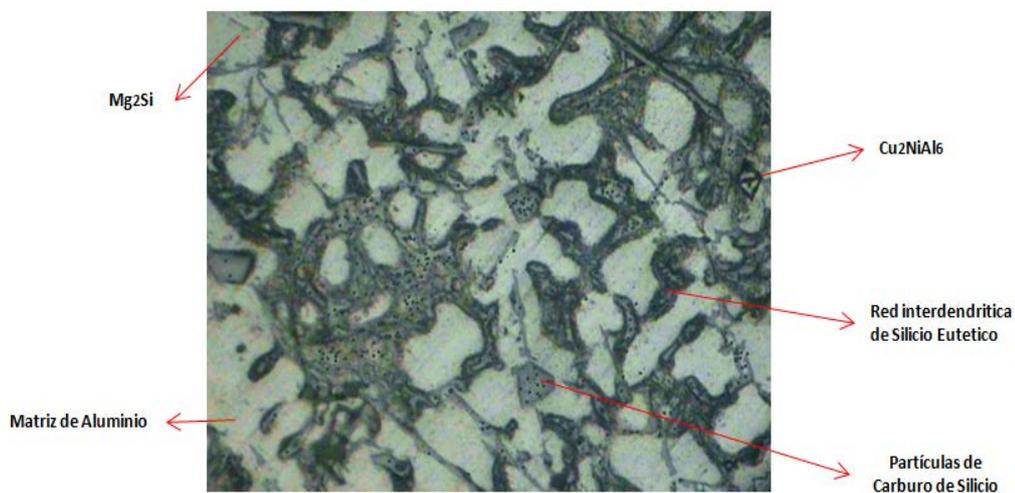
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 5.0
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 5.0		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	08/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	45 seg

RESULTADO:



Microestructura probeta EM 5.0, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 45 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA CASO 5

Determinación del tamaño de grano	Microestructura: CASO 5
Método:	ASTM E 112:96 Magnificación: 100x

PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES

Cálculo:

$$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$$

$f = 2$ por Jeffries (100x)

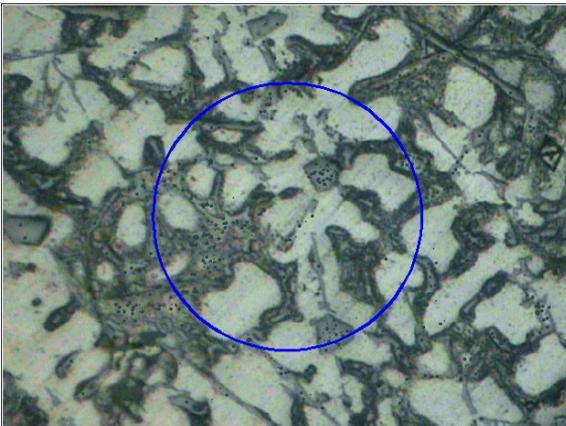
$$NA = 2 \left(7 + \frac{8}{2} \right)$$

$$NA = 2 * 11 = 22$$

$$G = 3,321918 * \log NA - 2.954$$

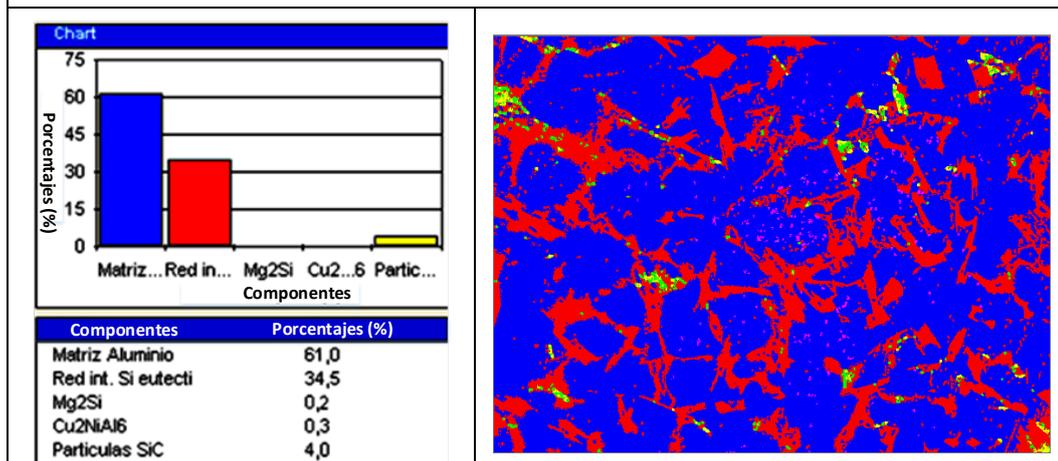
$$G = 3,321918 * \log(22) - 2.954$$

$$G = 1.505$$



Tamaño de grano ASTM	1.51
-----------------------------	-------------

COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X

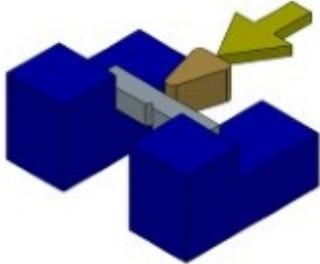
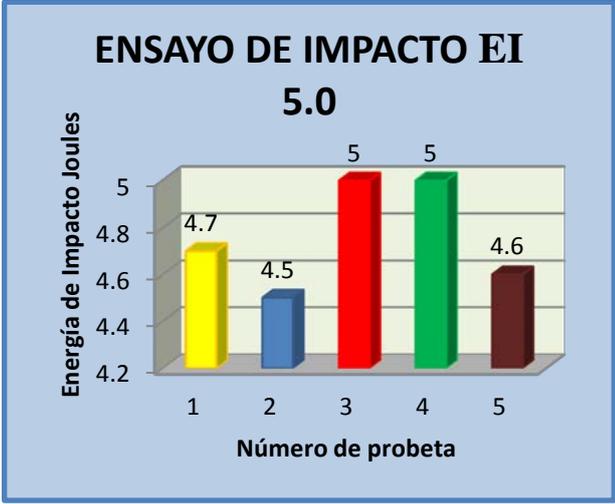


Revisada la microestructura del CASO 5 se puede indicar que los componentes del compuesto son: 61.0% de Matriz de Aluminio, 34.5% de Red Interdendrítica de Silicio, 0.2% de Mg₂Si, 0.3% de Cu₂NiAl₆ y 4.0% de Partículas de Carburo de Silicio.

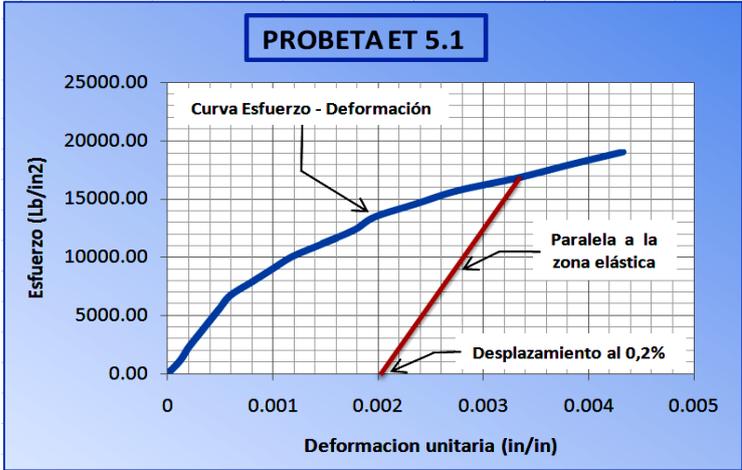
Ensayo de Dureza CASO 5.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De Laboratorio		Ensayo No.	ED 5.0	
Identificación de componente de estudio:			Probeta ED 5.0		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	10/07/2013		
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM			
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
Norma aplicable:			ASTM E 10:01		
Temperatura Ambiente:	20°C	Tipo de Identador:	Bola de 2.5mm		
Valor de carga aplicada:	612.9 N	Tiempo de ensayo:	18 min		
RESULTADO:					
Fórmula de Cálculo: $D = 2.5 \text{ mm}$ $d = (\text{Huella mm})$ $P = (612.9\text{N}) = 62.5\text{Kg}$ $HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ $= \frac{2(62.5)}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$ $= \frac{125}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$		No de huella	Diámetro huella(d)	Dureza Brinell HB	
		ED 5.1	0.900 mm	94.95 HB	
		ED 5.2	0.874 mm	100.89 HB	
		ED 5.3	0.905 mm	93.87 HB	
		ED 5.4	0.880 mm	99.47 HB	
		ED 5.5	0.890 mm	97.17 HB	
		ED 5.6	0.860 mm	104.31 HB	
		ED 5.7	0.900 mm	94.95 HB	
		ED 5.8	0.900 mm	94.95 HB	
		ED 5.9	0.860 mm	104.31 HB	
		ED 5.10	0.900 mm	94.95 HB	
Dureza Brinell promedio:			97.98 HB		
<p>La Dureza promedio que soportan las probetas escoriñicadas y desgasificadas al 4% de SiC es de 97.98 HB. El menor valor registrado es de 93.87 HB y el mayor valor es de 104.31 HB.</p>					

Ensayo de Impacto CASO 5.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE IMPACTO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EI 5.0
Identificación de componente de estudio:		Probetas EI 5.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	12/07/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO			
Norma aplicable:		ASTM E 23:02	
Temperatura Ambiente:	20°C	Método	Charpy
Energía de impacto:	Joules	Tiempo de ensayo:	5 min
RESULTADO:			
			
No	No de probeta	Energía de Impacto (Joules)	
1	EI 5.1	4.7 Joules	
2	EI 5.2	4.5 Joules	
3	EI 5.3	5.0 Joules	
4	EI 5.4	5.0 Joules	
5	EI 5.5	4.6 Joules	
PROMEDIO:		4.76 Joules	
<p>La energía promedio que soportan las probetas escoriñicadas y desgasificadas al 4% de SiC es de 4.76 Joules. El menor valor registrado es de 4.5 Joules y un mayor valor es de 5.0 Joules.</p>			

Ensayo de Tracción CASO 5.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 5.1
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	15/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada
RESULTADO:			
Gráfico Esfuerzo – Deformación 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Carga máxima:	1693 Kg = 3724.6 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.034 in	Deformación máxima:	0.034 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.479 in
RESULTADOS CALCULADOS:			
Resistencia a la tracción (Sut):	18969.23 lb/in ²	% de Elongación:	1.7 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17000 lb/in ²	% de reducción de área:	8.2 %
Módulo de Elasticidad:	4248858.97 lb/in ² = 29.3 Gpa.		
Observaciones:			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

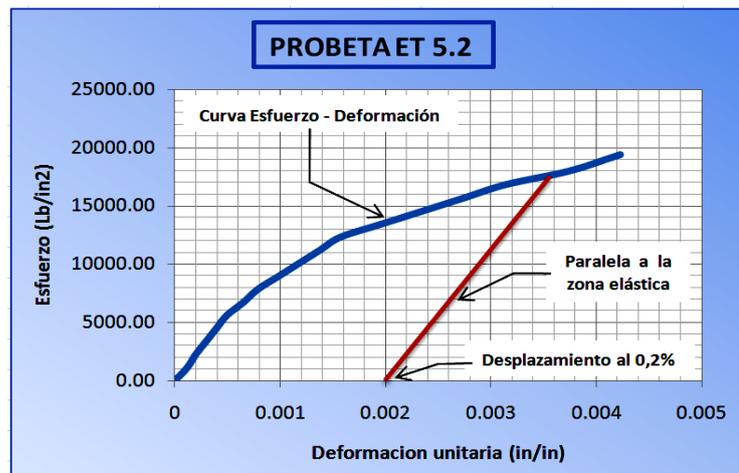
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 5.2
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	15/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1725.7 Kg = 3796.54lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.037 in	Deformación máxima:	0.037 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.476 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19335.62 lb/in ²	% de Elongación:	1.85 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17700 lb/in ²	% de reducción de área:	9.32 %
Módulo de Elasticidad:	4254325.78 lb/in ² = 29.33 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

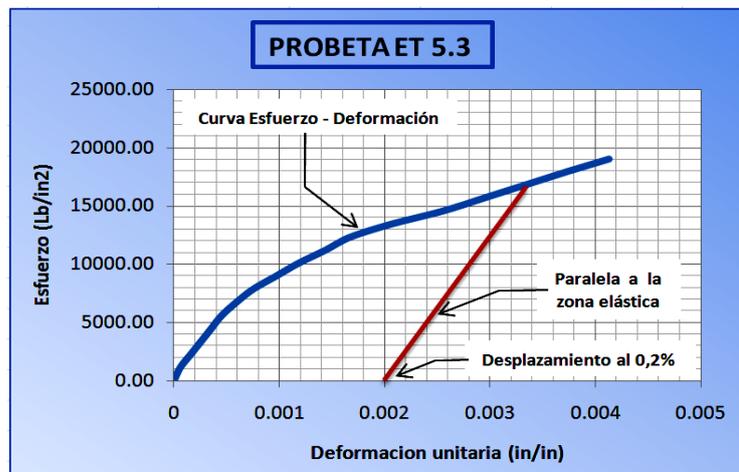
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 5.3
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	15/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1694.3 Kg = 3727.46 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.0356 in	Deformación máxima:	0.0356 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.478 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	18983.8 lb/in ²	% de Elongación:	1.78 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17100 lb/in ²	% de reducción de área:	8.56 %
Módulo de Elasticidad:	4275359.77 lb/in ² = 29.48 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

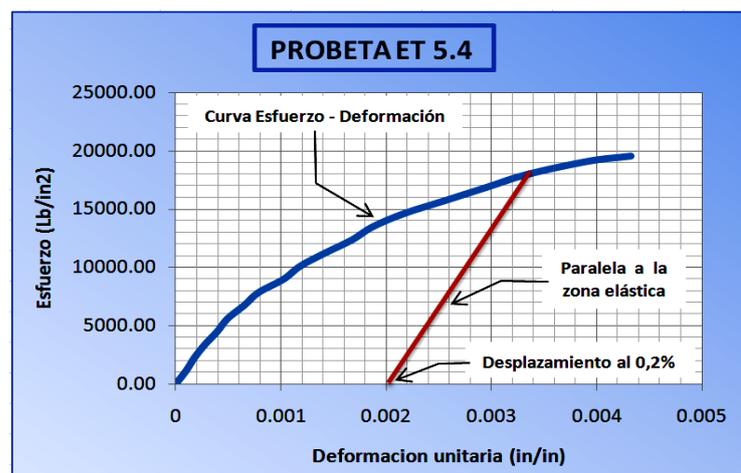
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 5.4
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	15/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1737 Kg = 3821.4 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.032 in	Deformación máxima:	0.032 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.481 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19462.23 lb/in ²	% de Elongación:	1.6 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	18000 lb/in ²	% de reducción de área:	7.44 %
Módulo de Elasticidad:	4474141.11 lb/in ² = 30.85 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

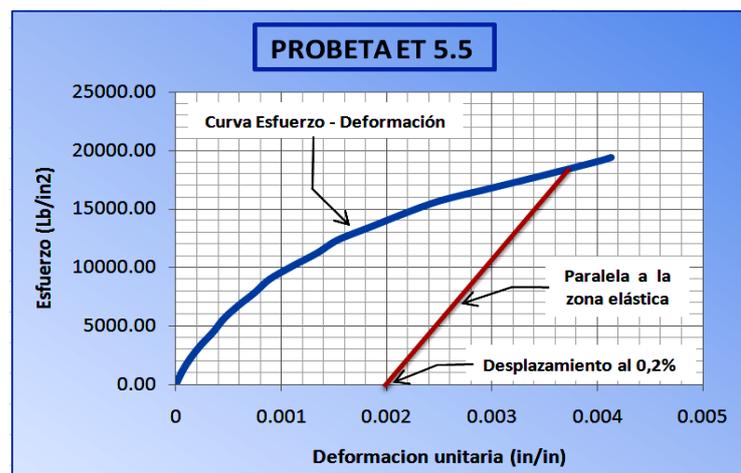
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 5.5
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	15/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1723.7 Kg = 3792.14 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.033 in	Deformación máxima:	0.033 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.48 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19313.21 lb/in ²	% de Elongación:	1.65 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	18500 lb/in ²	% de reducción de área:	7.80 %
Módulo de Elasticidad:	4367860.31 lb/in ² = 30.12 Gpa.		

Observaciones:

4.1.2.2.6. CASO 6.

Fundición del CASO 6.

Fecha: 17/07/2013 – 31/07/2013

Para la realización del CASO 6 se utilizó un horno de inducción del Taller de Fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El crisol empleado fue de origen Brasileño (Salamander Grafinox) de grafito y arcilla.

La metodología empleada para fundir la carga fue colocar 646 gramos aluminio de pistón y fundirlo completamente, una vez fundido se procede a retirar la escoria formada en la superficie, se agrega 19.5 gramos de escorificador (3%) y 3.23 gramos de desgasificador (0.5%), se mezcla manualmente y se retira la escoria formada, añadimos 32 gramos de carburo de silicio (5%) precalentado previamente a 550°C dosificando una ración de 0.5 gramos (aprox.) intercalada cada 2 segundos al mismo tiempo que se revuelve con la mezcladora mecánica (Stir Casting) de 4 paletas inclinadas a 90° de 4cm por 5.5 cm (c/u) en la parte inferior del mezclador a 400 RPM durante 8 minutos. (Eje ½ pulgada).

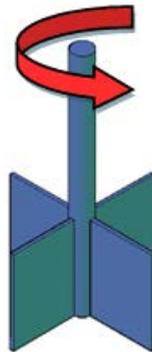


Figura 4.5 Mezclador 4 paletas verticales. 4 x 5.5cm.

Fuente: Autor

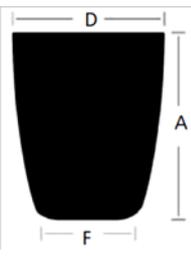
Finalmente la mezcla fue colada en el molde de arena y dejada en reposo hasta el siguiente día antes de ser desmoldada.



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



REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS

CASO N°	6	Autorizado por:	Ing. Mg. Espín	Realizado por	L. Santana
Lugar de realización:	Taller de fundición		Fecha de realización:	17/06/2013	
Hora de inicio de fundición	09H00	Hora de fin de fundición	09H15	Tiempo de fundición	15 min.
Tipo de crisol:	Crisol de grafito y arcilla formato A 6 tipo cónico. Origen Brasil. Marca Salamander Grafinox.		Formato del crisol	A 6 A: 165 mm D:129 mm F:85 mm L: 1 Litro	

CONDICIONES DE FUNDICIÓN

Masa de Aluminio	646 gr	Masa de SiC	32 gr	MASA TOTAL	678 gr
% de Al	100%	% de SiC	5%	% Total	100%
Molde de fundición utilizado	Arena verde		Tipo de mezclado:	NINGUNA	
Tipo de enfriamiento:	En el molde de arena				

PARAMETROS INTRODUCIDOS EN EL HORNO DE INDUCCIÓN

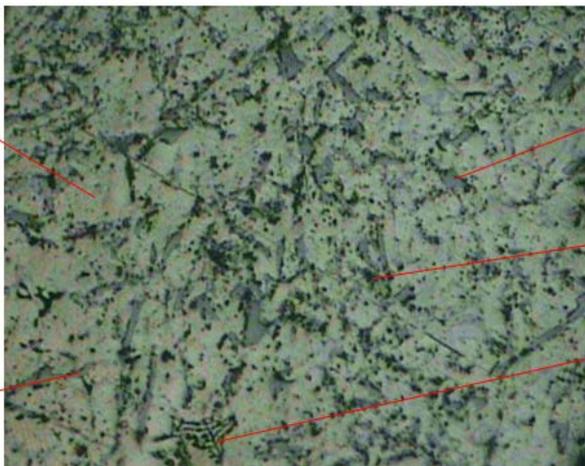
Tiempo de calentamiento:	10 s.	Tiempo de permanencia:	30 s.	Tiempo de enfriamiento	10s.
Perilla reguladora de amperaje	50%	Perilla reguladora de amperaje	50%	Amperaje alcanzado	800 A.
Temperatura alcanzada:					670 °C.

RESULTADOS OBTENIDOS

- Se obtiene el compuesto deseado con un 4% de SiC.

Microestructura metalográfica CASO 6.

Para determinar la microestructura de la aleación reforzada obtenida se realiza el análisis metalográfico, en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Obteniendo el siguiente resultado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 6.0
Identificación de componente de estudio:		Probeta EM 6.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	19/07/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido mecánico.	
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:		SIN ATAQUE	
RESULTADO:			
			
Matriz de Aluminio		Silicio Eutéctico	
		Partículas de Carburo de Silicio	
Mg ₂ Si		Cu ₂ NiAl ₆	
Microestructura probeta EM 6.0, a 100X, sin ataque.			
OBSERVACIONES:			



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



ENSAYO METALOGRAFICO

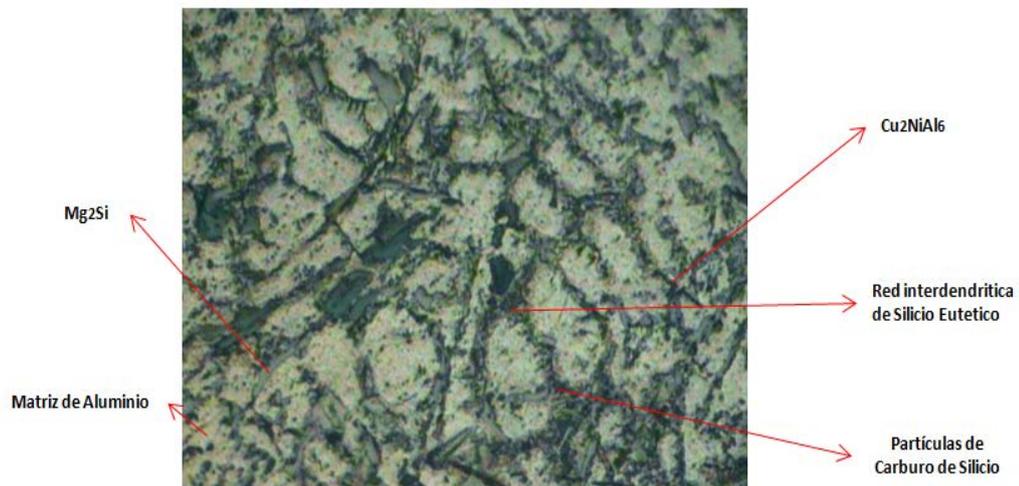
DATOS INFORMATIVOS:

Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EM 6.0
Identificación de componente de estudio:	Probeta EM 6.0		
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	19/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

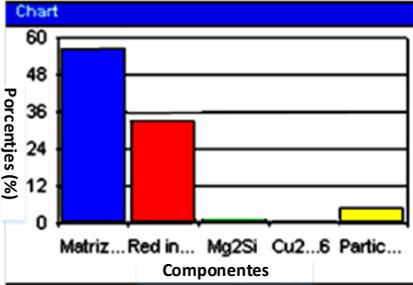
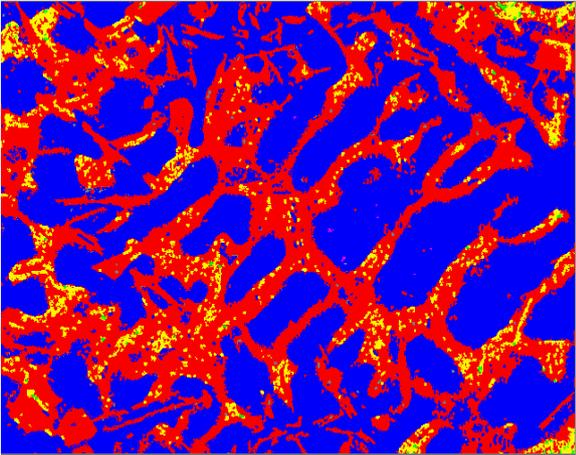
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de la superficie:	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido:	18°C	Superficie preparada en:	46 min
Ataque químico de superficie con:	Reactivo de Keller	Durante:	45 seg

RESULTADO:



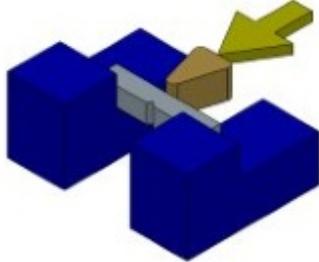
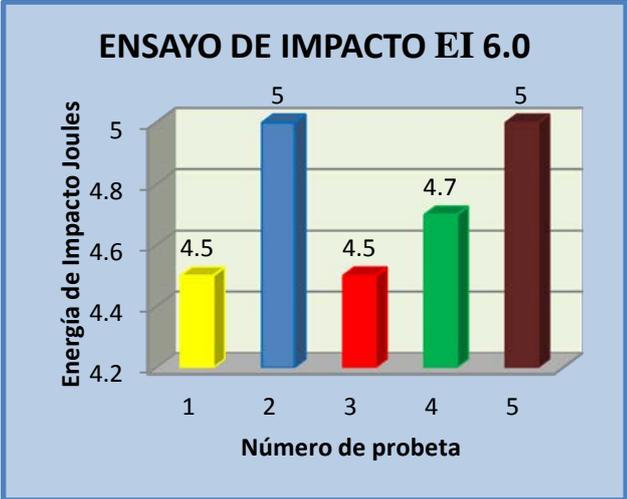
Microestructura probeta EM 6.0, a 100X, atacado con reactivo de keller (5 ml de HNO₃ y 190 ml de agua destilada) durante 35 segundos.

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA CASO 6													
Determinación del tamaño de grano		Microestructura: CASO 6											
Método:	ASTM E 112:96	Magnificación: 100x											
PROCEDIMIENTO PLANIMÉTRICO DE JEFFRIES													
Cálculo:													
$NA = f \left(N_{Inside} + \frac{N_{Intercepted}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ por Jeffries (100x)}$ $NA = 2 \left(6 + \frac{9}{2} \right)$ $NA = 2 * 10.5 = 21$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3.321918 * \log(21) - 2.954$ $G = 1.44$													
Tamaño de grano ASTM	1.44												
COMPONENTES MICROESTRUCTURALES 100X													
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>Porcentajes (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Matriz Aluminio</td> <td>58,6</td> </tr> <tr> <td>Red int. Si eutecti</td> <td>33,2</td> </tr> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>1,3</td> </tr> <tr> <td>Cu2NiAl6</td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td>Partículas SiC</td> <td>5,2</td> </tr> </tbody> </table>	Componentes	Porcentajes (%)	Matriz Aluminio	58,6	Red int. Si eutecti	33,2	Mg2Si	1,3	Cu2NiAl6	1,7	Partículas SiC	5,2	
Componentes	Porcentajes (%)												
Matriz Aluminio	58,6												
Red int. Si eutecti	33,2												
Mg2Si	1,3												
Cu2NiAl6	1,7												
Partículas SiC	5,2												
<p>Revisada la microestructura del CASO 6 se puede indicar que los componentes del compuesto son: 58.6% de Matriz de Aluminio, 33.2% de Red Interdendrítica de Silicio, 1.3% de Mg₂Si, 1.7% de Cu₂NiAl₆ y 5.2% de Partículas de Carburo de Silicio.</p>													

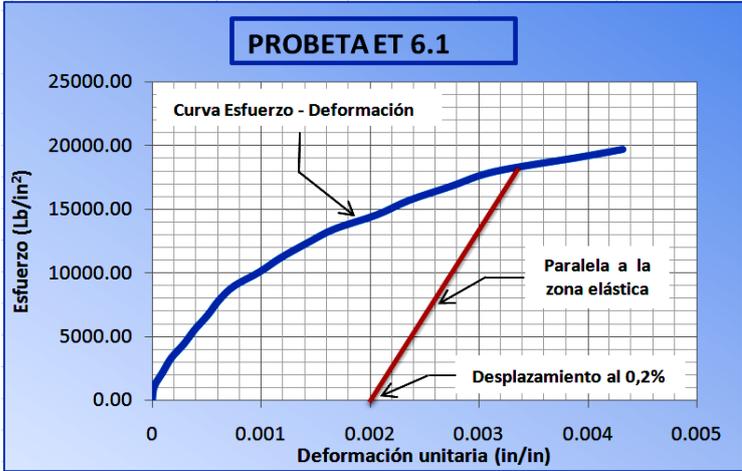
Ensayo de Dureza CASO 6.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA					
DATOS INFORMATIVOS:					
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ED 6.0		
Identificación de componente de estudio:		Probeta ED 6.0			
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	23/07/2013		
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM			
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
Norma aplicable:		ASTM E 10:01			
Temperatura Ambiente:	21°C	Tipo de Identador:	Bola de 2.5mm		
Valor de carga aplicada:	612.9 N	Tiempo de ensayo:	20 min		
RESULTADO:					
Fórmula de Cálculo: $D = 2.5 \text{ mm}$ $d = (\text{Huella mm})$ $P = (612.9\text{N}) = 62.5\text{Kg}$ $HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ $= \frac{2(62.5)}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$ $= \frac{125}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$	No de huella	Diámetro huella(d)	Dureza Brinell HB		
	ED 6.1	0.900 mm	94.95 HB		
	ED 6.2	0.870 mm	101.85 HB		
	ED 6.3	0.860 mm	104.31 HB		
	ED 6.4	0.890 mm	97.17 HB		
	ED 6.5	0.900 mm	94.95 HB		
	ED 6.6	0.880 mm	99.47 HB		
	ED 6.7	0.900 mm	94.95 HB		
	ED 6.8	0.870 mm	101.85 HB		
	ED 6.9	0.880 mm	99.47 HB		
	ED 6.10	0.890 mm	97.17 HB		
Dureza Brinell promedio:			98.62 HB		
<p>La Dureza promedio que soportan las probetas escoriñcadas y desgasificadas al 5% de SiC es de 98.62 HB. El menor valor registrado es de 94.95 HB y el mayor valor es de 104.31 HB.</p>					

Ensayo de Impacto CASO 6.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE IMPACTO			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	EI 6.0
Identificación de componente de estudio:		Probetas EI 6.0	
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	25/07/2013
Centro de análisis de estudio:		Laboratorio de materiales – FICM	
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE IMPACTO			
Norma aplicable:		ASTM E 23:02	
Temperatura Ambiente:	20°C	Método	Charpy
Energía de impacto:	Joules	Tiempo de ensayo:	7 min
RESULTADO:			
			
No	No de probeta	Energía de Impacto (Joules)	
1	EI 6.1	4.5	
2	EI 6.2	5	
3	EI 6.3	4.5	
4	EI 6.4	4.7	
5	EI 6.5	5	
PROMEDIO:		4.74 Joules	
<p>La energía promedio que soportan las probetas escoriñicadas y desgasificadas al 5% de SiC es de 4.74 Joules. El menor valor registrado es de 4.5 Joules y el mayor valor es de 5 Joules.</p>			

Ensayo de Tracción CASO 6.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 6.1
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	31/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in	Método:	Deformación controlada
RESULTADO:			
Gráfico Esfuerzo – Deformación			
 <p style="text-align: center;">PROBETA ET 6.1</p> <p style="text-align: center;">Curva Esfuerzo - Deformación</p> <p style="text-align: center;">Esfuerzo (lb/in²)</p> <p style="text-align: center;">Deformación unitaria (in/in)</p> <p style="text-align: center;">Paralela a la zona elástica</p> <p style="text-align: center;">Desplazamiento al 0,2%</p>			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Carga máxima:	1753 Kg = 3856.6 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.034 in	Deformación máxima:	0.034 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.4796 in
RESULTADOS CALCULADOS:			
Resistencia a la tracción (Sut):	19641.5 lb/in ²	% de Elongación:	1.70 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	18200 lb/in ²	% de reducción de área:	8.00 %
Módulo de Elasticidad:	4395000.4 lb/in ² = 30.3 Gpa.		
Observaciones:			



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

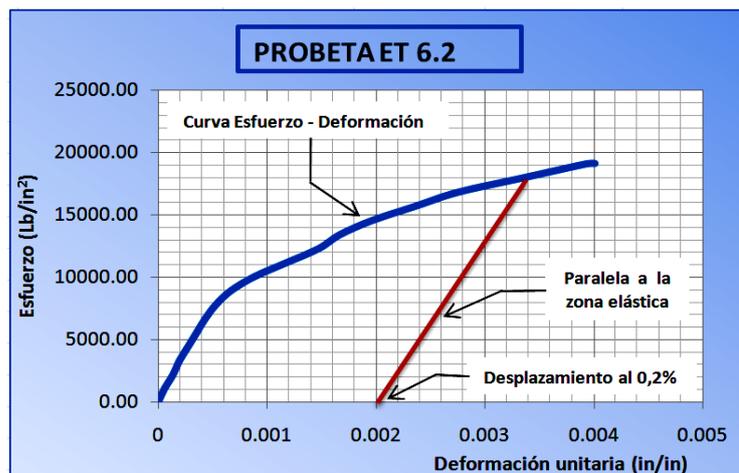
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 6.2
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	31/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Díámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1703 Kg = 3746.6 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.033 in	Deformación máxima:	0.033 in.
Díámetro Inicial:	0.5 in	Díámetro Final:	0.48 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19081.28 lb/in ²	% de Elongación:	1.65 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	18000 lb/in ²	% de reducción de área:	7.88 %
Módulo de Elasticidad:	4402919.52 lb/in ² = 30.36 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

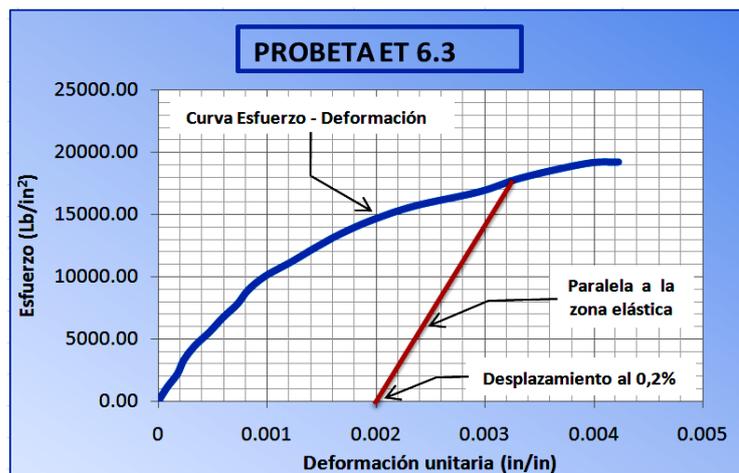
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 6.3
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	31/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1710 Kg = 3762 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.031 in	Deformación máxima:	0.031 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.484 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19159.71 lb/in ²	% de Elongación:	1.55 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17900 lb/in ²	% de reducción de área:	6.50 %
Módulo de Elasticidad:	4398683.39 lb/in ² = 30.33 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

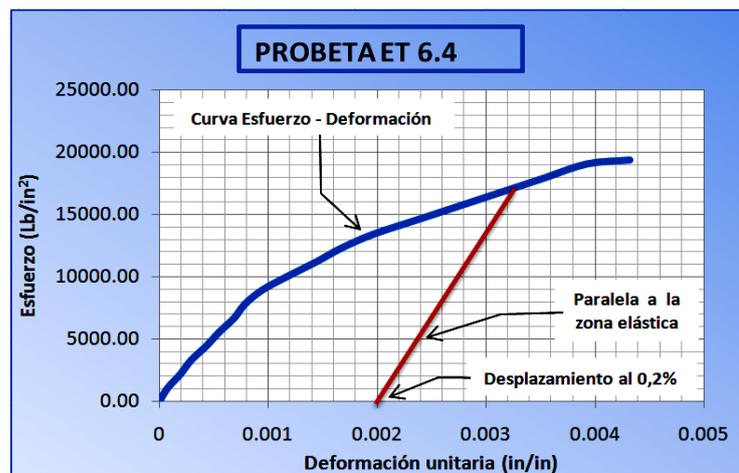
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 6.4
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	31/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1727 Kg = 3799.4 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.035 in	Deformación máxima:	0.035 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.476 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19350.19 lb/in ²	% de Elongación:	1.75 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17300 lb/in ²	% de reducción de área:	9.32 %
Módulo de Elasticidad:	4358504.1 lb/in ² = 30.05 Gpa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS:

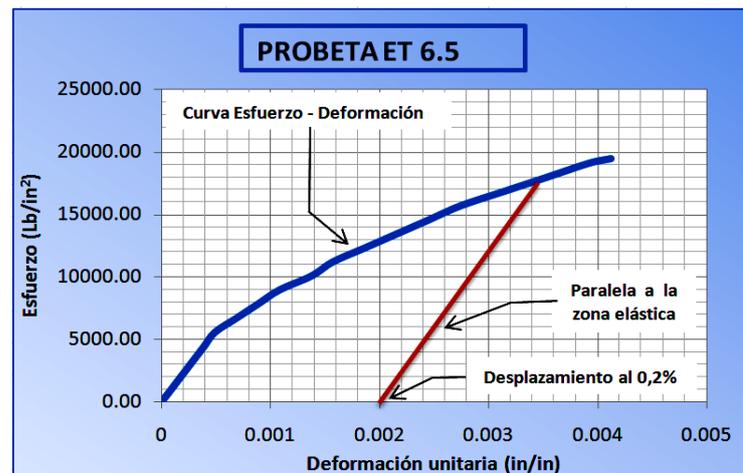
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo No.	ET 6.5
Solicitado por:	Luis Santana	Fecha:	31/07/2013
Centro de análisis de estudio:	Laboratorio de ensayo de materiales – FICM		
Realizado por:	Luis Santana	Supervisado por:	Ing. Mg. Segundo Espín

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Instrumento utilizado:	Máquina Universal Tinius Olsen 30 Toneladas		
Longitud de calibración:	2 in.	Normas aplicables:	ASTM E 8:00, ASTM E 111:97
Diámetro de la probeta:	½ in.	Método:	Deformación controlada

RESULTADO:

Gráfico Esfuerzo – Deformación



RESULTADOS REGISTRADOS:

Carga máxima:	1731 Kg = 3808.2 lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.032 in	Deformación máxima:	0.032 in.
Diámetro Inicial:	0.5 in	Diámetro Final:	0.481 in

RESULTADOS CALCULADOS:

Resistencia a la tracción (Sut):	19395 lb/in ²	% de Elongación:	1.6 %
Resistencia a la cedencia (Sy):	17700 lb/in ²	% de reducción de área:	7.44 %
Módulo de Elasticidad:	4481800.92 lb/in ² = 30.9 Gpa.		

Observaciones:

Ensayo A Desgaste Adhesivo CASO 6.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO						
						
Datos Informativos:						
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Metalografía de Materiales - FICM			
Tipo de estudio:	De laboratorio		Ensayo N°	EDA 02		
Solicitado por:	Ing. Mg. Henry Vaca		Realizado por:	Luis Santana		
Supervisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca		Fecha Inicio:	20/01/2014		
Normas Aplicables:	ASTM G83-96		Fecha Finalización:	20/01/2014		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento "B"	Fuerza Aplicada			Revoluciones (rev)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)
	(N)	(Kgf)	(lb)			
	71.2	7.26	16	40,000	400	100
Tolerancia 3%			Tolerancia 2%			
Identificación del componente de estudio:						
Probeta Estática	Material:	Aluminio Fundido + 5%SiC		Designación :	DIN A332F +5%SiC	
	Densidad:	2.74	gr/cm ³	Dureza:	98.62	HB
	Longitud:	103	Mm	Diámetro:	12.7	mm
	DUREZA:			33.78		Kg/mm ²
Probeta Móvil	Material:	Aluminio Fundido + 5%SiC		Designación :	DIN A332F +5%SiC	
	Densidad:	2.74	gr/cm ³	Dureza:	98.62	HB
	Longitud:	99	Mm	Diámetro:	12.7	mm
	DUREZA:			33.78		Kg/mm ²
Tipo de aparato:			Cilindros Cruzados			
Tipo de movimiento:			Deslizamiento Simple			
Tipo de lubricación:			Seca (sin lubricación)			
Acondicionamiento de la superficie:			Pulido mecánico			
Rugosidad de la superficie:	Lisa		Limpieza:	Alcohol Etflico		
Observaciones						
Los datos expuestos fueron obtenidos del catalogo de IVAN BOHMAN C.A						
RESULTADO:						



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



ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO DEL ALUMINIO FUNDIDO,

PROCEDIMIENTO B

Lugar de Realización:	Laboratorio de materiales	Flujo de aire del medio:	Estático
T. ambiente del lugar:	20 °C	Realizado por:	Luis Santana
Fecha:	20/01/2014	Hora Inicio:	2:00:00 PM
Tiempo promedio:	100 minutos	Hora Final:	3:40:00 PM
Fuerza real aplicada:	7.2658 Kgf	Velocidad promedio:	400 RPM
Probeta Estática	Material:	AISI	A322F
	Densidad:	2.74	gr/cm ³
	Dureza:	33.78	Kg/mm ²
	Masa Inicial (mi):	36.0526	Gr
	Masa Final (mo):	36.0245	Gr
	Desgaste (Dm):	0.0281	gr.
Probeta Móvil	Material:	AISI	A322F
	Densidad:	2.74	gr/cm ³
	Dureza:	33.78	Kg/mm ²
	Masa Inicial (mi):	34.3432	gr
	Masa Final (mo):	34.2303	gr
	Desgaste (Dm):	0.1130	gr.
Desgaste Total:	141.1 mg.	Volumen material perdido $\Sigma\Delta m$:	51.4842 mm ³
Distancia deslizada (L) :	1595932.80 mm	Velocidad de desgaste (Vd):	0.5253 mm ³ /min
Valor K Experimental:		1.45E-04	
Observaciones:			

4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

4.2.1 Interpretación de los resultados del ensayo de tracción.

Tabla 4.1 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 1 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde sin escorificar ni desgasificar con 0% de adición de Carburo de Silicio.

ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS ET 1.0 CON 0% SiC (Sin escorificar ni desgasificar)					
PROBETA	Sut lb/in² (Psi)	Sy lb/in² (Psi)	% E	% R A	Modulo de Young lb/in² (Psi)
PROBETA ET 1.1	16665.31	NA	1.70	6.00	5314905.89
PROBETA ET 1.2	10867.75	NA	1.55	7.79	4645875.00
PROBETA ET 1.3	15015.59	NA	1.80	9.73	4063929.24
PROBETA ET 1.4	12199.92	NA	1.75	8.56	5022452.12
PROBETA ET 1.5	13056.55	NA	1.65	5.91	5330140.55
PROMEDIO	13561.02	NA	1.69	7.60	4875460.56

Fuente: Autor

Tabla 4.2 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 2 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 0% de adición de Carburo de Silicio.

ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS ET 2.0 CON 0% SiC (Escorificado y desgasificado)					
PROBETA	Sut lb/in² (Psi)	Sy lb/in² (Psi)	% E	% R A	Modulo de Young lb/in² (Psi)
PROBETA ET 2.1	18896.40	16200.00	2.25	10.85	3971157.54
PROBETA ET 2.2	18986.04	17100.00	2.15	8.56	4158997.29
PROBETA ET 2.3	18694.72	17100.00	2.20	10.90	4148253.02
PROBETA ET 2.4	18801.16	17300.00	2.00	10.85	4098120.82
PROBETA ET 2.5	19570.91	17300.00	2.10	10.49	3879761.75
PROMEDIO	18989.85	17000.00	2.14	10.33	4051258.08

Fuente: Autor

Tabla 4.3 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 3 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 2% de adición de Carburo de Silicio.

ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS ET 3.0 CON 2% SiC (Escorificado y desgasificado)					
PROBETA	Sut lb/in² (Psi)	Sy lb/in² (Psi)	% E	% R A	Modulo de Young lb/in² (Psi)
PROBETA ET 3.1	18577.07	17400.00	1.80	8.03	4097538.25
PROBETA ET 3.2	19271.80	17100.00	2.05	9.32	4164541.97
PROBETA ET 3.3	19361.39	17800.00	1.90	9.32	4106561.17
PROBETA ET 3.4	18902.01	17800.00	1.80	8.56	4149563.99
PROBETA ET 3.5	19174.28	17800.00	1.85	10.09	4165127.18
PROMEDIO	19057.31	17580.00	1.88	9.06	4136666.51

Fuente: Autor

Tabla 4.4 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 4 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 3% de adición de Carburo de Silicio.

ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS ET 4.0 CON 3% SiC (Escorificado y desgasificado)					
PROBETA	Sut lb/in² (Psi)	Sy lb/in² (Psi)	% E	% R A	Modulo de Young lb/in² (Psi)
PROBETA ET 4.1	19332.26	17700.00	1.85	9.40	4069974.89
PROBETA ET 4.2	19122.73	17800.00	1.75	7.03	4298148.50
PROBETA ET 4.3	18811.25	17800.00	1.70	7.44	4409852.17
PROBETA ET 4.4	19672.88	18800.00	1.75	8.56	4356908.24
PROBETA ET 4.5	18801.16	15900.00	1.85	9.32	4017368.25
PROMEDIO	19148.06	17600.00	1.78	8.35	4230450.41

Fuente: Autor

Tabla 4.5 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 5 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 4% de adición de Carburo de Silicio.

ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS ET 5.0 CON 4% SiC (Escorificado y desgasificado)					
PROBETA	Sut lb/in² (Psi)	Sy lb/in² (Psi)	% E	% R A	Modulo de Young lb/in² (Psi)
PROBETA ET 5.1	18969.23	17000.00	1.70	8.20	4248858.97
PROBETA ET 5.2	19335.62	17700.00	1.85	9.32	4254325.78
PROBETA ET 5.3	18983.80	17100.00	1.78	8.56	4275359.77
PROBETA ET 5.4	19462.23	18000.00	1.60	7.44	4474141.11
PROBETA ET 5.5	19313.21	18500.00	1.65	7.80	4367860.31
PROMEDIO	19212.82	17660.00	1.72	8.26	4324109.19

Fuente: Autor

Tabla 4.6 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 6 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 5% de adición de Carburo de Silicio.

ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS ET 6.0 CON 5% SiC (Escorificado y desgasificado)					
PROBETA	Sut lb/in² (Psi)	Sy lb/in² (Psi)	% E	% R A	Modulo de Young lb/in² (Psi)
PROBETA ET 6.1	19641.50	18200.00	1.70	8.00	4395000.40
PROBETA ET 6.2	19081.00	18000.00	1.65	7.88	4402919.52
PROBETA ET 6.3	19159.71	17900.00	1.55	6.50	4398683.39
PROBETA ET 6.4	19350.19	17300.00	1.75	9.32	4358504.10
PROBETA ET 6.5	19395.00	17700.00	1.60	7.44	4481800.92
PROMEDIO	19325.48	17820.00	1.65	7.83	4407381.67

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos de las probetas reforzadas con Carburo de Silicio se los compara con los resultados de las probetas sin refuerzo.

Tabla 4.7 Tabla de Resumen de los ensayos de tracción de los 6 de estudio.

COMPARACIÓN DE LOS PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.					
PROBETA	Sut lb/in² (Psi)	Sy lb/in² (Psi)	% E	% R A	Modulo de Young lb/in² (Psi)
[ET 1] 0% SiC	13561.02	NA	1.69	7.60	4875460.56
[ET 2] 0% SiC (Escorificado y Desgasificado)	18989.85	17000.00	2.14	10.33	4051258.08
[ET 3] 2% SiC (Escorificado y Desgasificado)	19057.31	17580.00	1.88	9.06	4136666.51
[ET 4] 3% SiC (Escorificado y Desgasificado)	19148.06	17600.00	1.78	8.35	4230450.41
[ET 5] 4% SiC (Escorificado y Desgasificado)	19212.82	17660.00	1.72	8.26	4324109.19
[ET 6] 5% SiC (Escorificado y Desgasificado)	19325.48	17820.00	1.65	7.83	4407381.67

Fuente: Autor



Figura 4.7 Comparación de Resistencia a Tracción (Sut).

Fuente: Autor.

En la figura 4.7. se puede observar que la probeta ET 1 sin escorificar ni desgasificar presenta un valor de resistencia a la tracción (Sut) promedio de 13.56 Kpsi mucho menor al valor promedio de 18.99 Kpsi de la probeta ET 2 escorificada y desgasificada. A medida que el porcentaje de refuerzo aumenta, también se incrementa la resistencia a la tracción, el mayor valor promedio de 19.33 Kpsi es de la probeta ET 6 con 5% de refuerzo de carburo de silicio escorificada y desgasificada.



Figura 4.8 Comparación de Resistencia a la Cedencia (Sy).

Fuente: Autor.

En la figura 4.8. se puede observar que la probeta ET 1 sin escorificar ni desgasificar no se logra observar su Resistencia a la Cedencia (Sy) debido a que se rompe antes de llegar a ese valor. Las probetas que fueron escorificadas y desgasificadas, a medida que el porcentaje de refuerzo aumenta, también se incrementa la resistencia a la Cedencia, el mayor valor de resistencia a la tracción promedio de 17.82 Kpsi es de la probeta ET 6 con 5% de refuerzo de carburo de silicio.

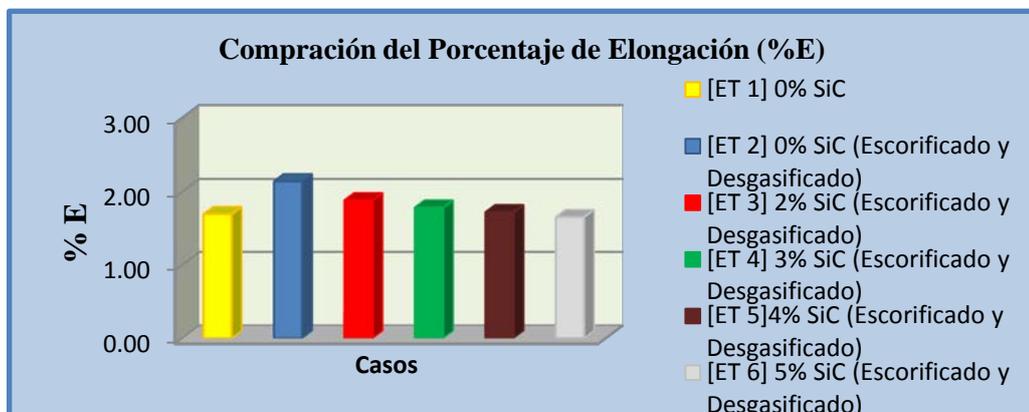


Figura 4.9 Comparación del porcentaje de Elongación (%E).

Fuente: Autor.

En la figura 4.9. se puede observar que el mayor porcentaje de elongación presentan las probetas ET 2 Sin refuerzo, escorificadas y desgasificadas, que tiene un valor promedio de 2.14%, mientras que el menor valor del 1.65% presentan las probetas ET 6 con el 5% de Refuerzo de SiC, escorificadas y desgasificadas. A medida que el refuerzo se incrementa, el porcentaje de elongación decrece. En las

probetas sin refuerzo, sin escorificar ni desgasificar se observa un valor de deformación pequeño debido a la baja resistencia que soportan.

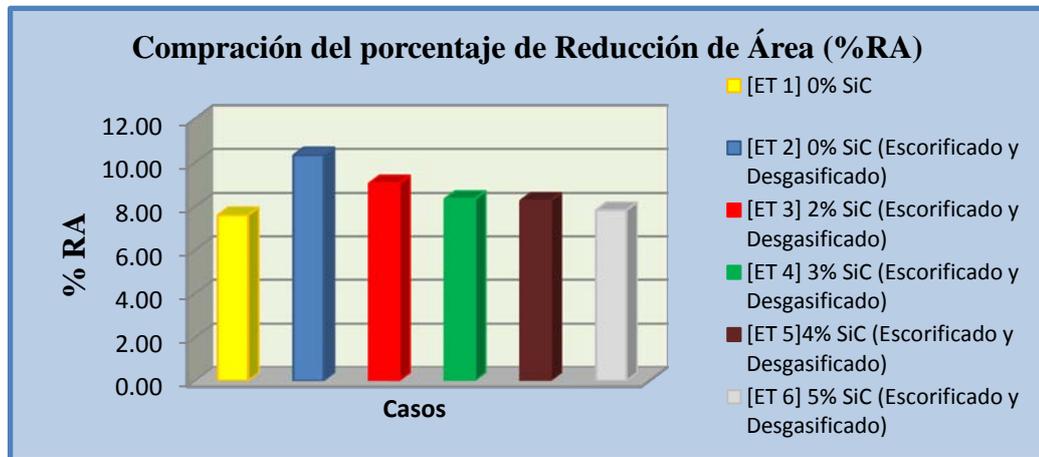


Figura 4.10 Comparación del porcentaje de Reducción de área.
Fuente: Autor.

En la figura 4.10. se puede observar que el mayor porcentaje de reducción de Area de las probetas ET 2 Sin refuerzo Escorificadas y desgasificadas 10.33%, mientras que el menor valor del 7.60% presentan las probetas ET 1 sin refuerzo, sin escoriar ni desgasificar. A medida que el refuerzo se incrementa, el porcentaje de elongación decrece.

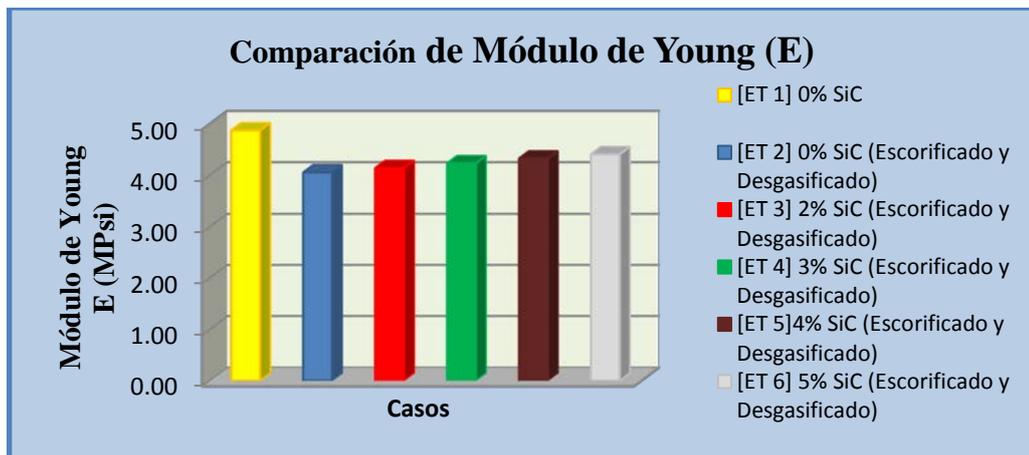


Figura 4.11 Comparación del Módulo de Young.

Fuente: Autor.

En la figura 4.11. se puede observar que el mayor valor de módulo de Young presentan las probetas ET 1 Sin refuerzo, sin escorificar y sin desgasificar con un valor de 4.88 MPsi. Dentro de las probetas escorificadas y desgasificadas

se presenta un incremento del módulo de Young a medida que el porcentaje de refuerzo aumenta, siendo el menor valor de módulo de Young para las probetas ET2 sin refuerzo, escorificadas y desgasificadas de 4.05 Mpsi. Dentro de las probetas con refuerzo escorificadas y desgasificadas las que presentan el mayor Módulo de Young de 4.41 MPsi son las ET6 con un 5% de SiC.

4.2.2 Interpretación de los resultados del ensayo metalográfico.

Tabla 4.8 Resultados promedio de ensayos de Tamaño de Grano de las probetas.

ENSAYO DE TAMAÑO DE GRANO (G)	
PROMEDIO	Tenacidad (Joules)
0% SiC	1.51
0% SiC (Escorificado y Desgasificado)	1.44
2% SiC (Escorificado y Desgasificado)	1.44
3% SiC (Escorificado y Desgasificado)	1.51
4% SiC (Escorificado y Desgasificado)	1.51
5% SiC (Escorificado y Desgasificado)	1.44

Fuente: Autor

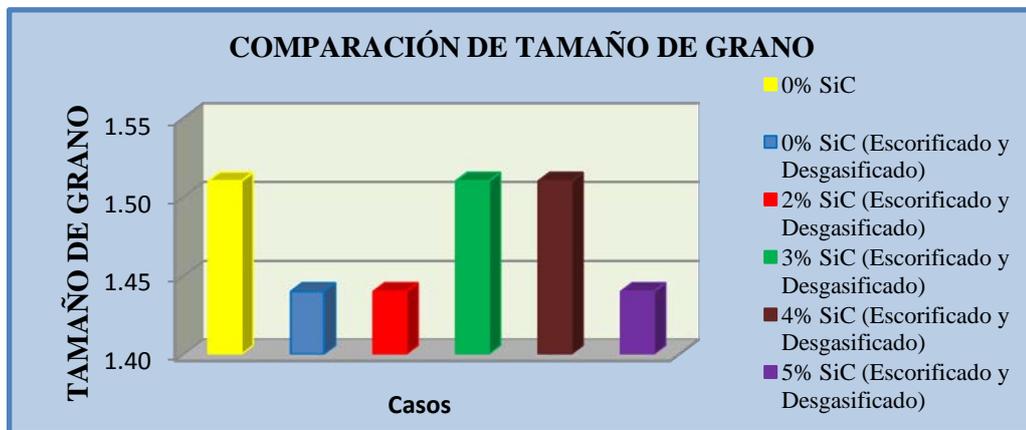


Figura 4.12 Comparación del tamaño de grano.

Fuente: Autor.

En la figura 4.12. se puede observar que el mayor valor de tamaño de grano ASTM de 1.51 y un mínimo valor de tamaño de grano ASTM de 1.44, el tamaño promedio de grano ASTM es de 1.48.

No existe variación del tamaño de grano ASTM al incrementar el porcentaje de refuerzo, más bien depende del proceso de obtención del material.

Tabla 4.9 Resultados de los componentes microestructurales de las probetas.

PORCENTAJES DE LAS FASES PRESENTES EN LAS MICROESTRUCTURAS ESTUDIADAS.					
	Matriz de Aluminio	Red Inter. Si Eutectic	Mg₂Si	Cu₂NiAl₆	Particulas de SiC
0% SiC	70.2 %	28.3 %	1.2 %	0.3 %	0 %
0% SiC (Escorificado y Desgas.)	60.5 %	35.8 %	3 %	0.7 %	0 %
2% SiC (Escorificado y Desgas.)	65.1 %	30.1 %	1.1 %	1.7 %	2 %
3% SiC (Escorificado y Desgas.)	64.5 %	32.3 %	0.2 %	0.7 %	2.9 %
4% SiC (Escorificado y Desgas.)	61 %	34.5 %	0.2 %	0.3 %	4 %
5% SiC (Escorificado y Desgas.)	58.6 %	33.2 %	1.3 %	1.7 %	5.2 %

Fuente: Autor

4.2.3 Interpretación de los resultados del ensayo de dureza.

Tabla 4.10 Resultados promedio de ensayos de dureza de las probetas.

ENSAYO DE DUREZA BRINELL(HB)	
PROMEDIO	Dureza (HB)
0% SiC	87.13
0% SiC (Escorificado y Desgasificado)	94.86
2% SiC (Escorificado y Desgasificado)	96.58
3% SiC (Escorificado y Desgasificado)	97.22
4% SiC (Escorificado y Desgasificado)	97.98
5% SiC (Escorificado y Desgasificado)	98.62

Fuente: Autor

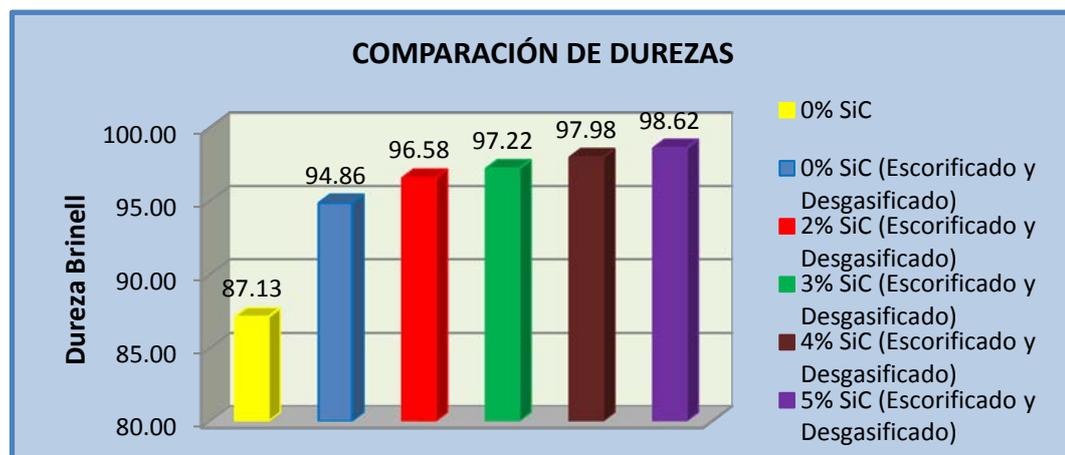


Figura 4.13 Comparación de la Dureza promedio.

Fuente: Autor.

En la figura 4.13. se puede observar que el mayor valor de dureza promedio presentan las probetas con un 5% de refuerzo con 98.62 (HB), a medida que el porcentaje de refuerzo se incrementa, la Dureza Brinell (HB) también se eleva. El menor valor de dureza presentan las probetas sin refuerzo. Siendo el menor valor 87.13 (HB) para las probetas sin refuerzo, sin escorificar ni desgasificar.

4.2.4 Interpretación de los resultados del ensayo impacto.

Tabla 4.11 Resultados promedio de ensayos de impacto de las probetas.

ENSAYO DE IMPACTO	
PROMEDIO	Tenacidad (Joules)
0% SiC	3.6
0% SiC (Escorificado y Desgasificado)	4.84
2% SiC (Escorificado y Desgasificado)	4.8
3% SiC (Escorificado y Desgasificado)	4.78
4% SiC (Escorificado y Desgasificado)	4.76
5% SiC (Escorificado y Desgasificado)	4.74

Fuente: Autor

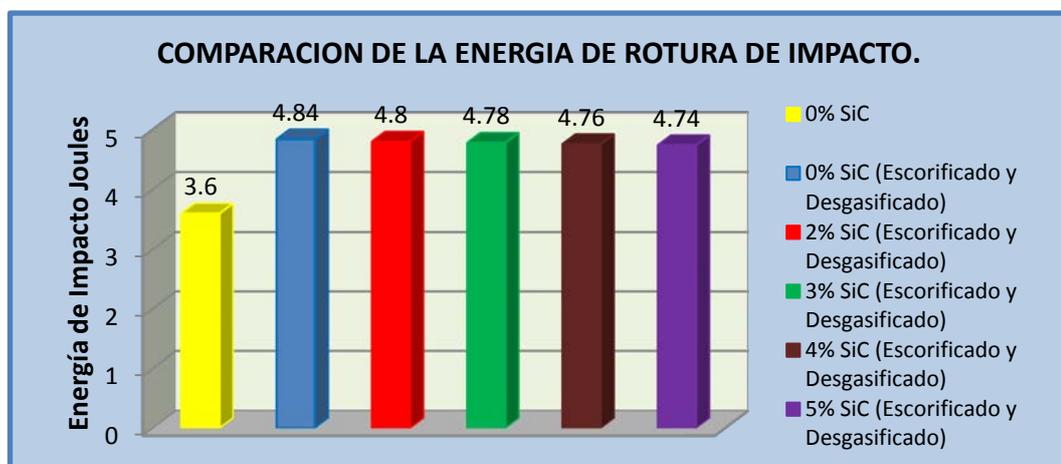


Figura 4.14 Comparación de la Energía de Rotura de Impacto.

Fuente: Autor.

En la figura 4.14. Indica una mayor energía de rotura de impacto para las probetas sin refuerzo escorificadas y degasificadas de 4.84 Joules y a medida que el porcentaje de refuerzo aumenta la energía de rotura de impacto va disminuyendo, el menor valor de energía de rotura de impacto es de 4.74 Joules para las probetas con un 5% de refuerzo.

4.2.5 Interpretación de los resultados del ensayo de Desgaste Adhesivo

Tabla 4.12 Tabla del coeficiente experimental (K)

Caso	Materiales		Coefficiente K Experimental
Caso 6	Al A332 + 5% SiC	Escoriado y desgasificado	1.45E-04
Caso 2	Al A332 + 0% SiC	Escoriado y desgasificado	4.33E-04

Fuente: Autor.

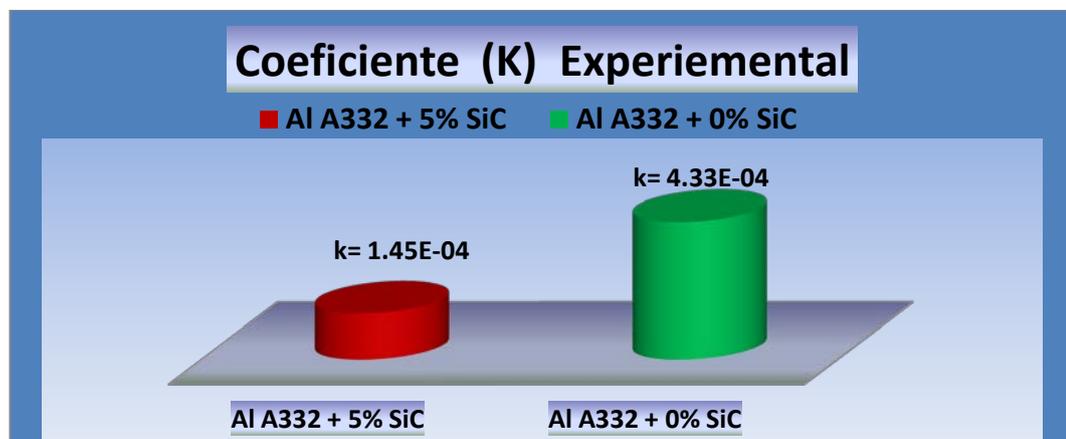


Figura 4.15 Comparación de Coeficiente experimental (k)

Fuente: Autor.

Mientras más pequeño es en coeficiente k experimental, más grande es la resistencia al desgaste adhesivo que presenta el material. Por lo tanto se puede decir que el Aluminio A332 + 5% SiC muestra un incremento del 190% frente al Aluminio A332 sin ningún tipo de refuerzo.

4.2.6 Resumen de los resultados.

Tabla 4.13 Tabla de Resumen de Resultados.

COMPARACIÓN DE LOS PROMEDIOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.							
PROBETA	Sut klb/in ² (kPsi)	Sy klb/in ² (kPsi)	% E	% R A	Modulo de Young klb/in ² (kPsi)	Dureza (HB)	Tenacidad (Joules)
[ET 1] 0% SiC	13.56	NA	1.69	7.60	4875.46	87.13	3.6
[ET 2] 0% SiC	18.99	17.00	2.14	10.33	4051.26	94.86	4.84
[ET 3] 2% SiC	19.06	17.58	1.88	9.06	4136.67	96.58	4.8
[ET 4] 3% SiC	19.15	17.60	1.78	8.35	4230.45	97.22	4.78
[ET 5] 4% SiC	19.21	17.66	1.72	8.26	4324.11	97.98	4.76
[ET 6] 5% SiC	19.33	17.82	1.65	7.83	4407.38	98.62	4.74

Fuente: Autor.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.

H₀: Reforzar con partículas de carburo de silicio en la aleación de aluminio 4032 no variará la dureza, resistencia y tenacidad.

H₁: Reforzar con partículas de carburo de silicio en la aleación de aluminio 4032 variará la dureza, resistencia y tenacidad.

RESUMEN TEORÍA DE LAS MUESTRAS PEQUEÑAS

PRUEBA t ESTADÍSTICA.

Se utiliza la prueba t debido a que el número de observaciones es menor a 30.

Ahora, el objetivo de esta prueba es constatar que existe una variación significativa entre la aleación fundida sin refuerzo y las aleaciones reforzadas.

Pasos:

1. Seleccionamos el nivel de significancia deseado.

- Para que haya una variación significativa el nivel de significancia debe ser de por lo menos el 5%, entonces $\alpha = 0.05$.
2. Calculamos los grados de libertad.
 - Grados de libertad = Número de observaciones - 1
 3. Determinamos el rango del intervalo de confianza.
 - Si vamos a hacer una prueba de 2 colas significa que en nivel de significancia se repartirá ± 0.025 en los extremos de curva normal.
 - El intervalo de t para dos colas dentro de la curva normal donde no existirá variación es de $-t_{.975}$ y $t_{.975}$.
 - Ingresamos a la tabla del Anexo B.7. con los grados de libertad y el intervalo de t y obtenemos el intervalo de confianza.
 4. Calculamos la desviación estándar S^2
 5. Calculamos la varianza S .
 6. Calculamos el valor **t estadístico**.
 7. Si el valor t estadístico cae dentro del intervalo de confianza obtenido de la tabla quiere decir que no ha habido una variación significativa al nivel de significancia del 5%, pero si cae fuera del intervalo de confianza quiere decir que si ha habido una variación significativa.

4.3.1 Prueba t para 2 colas con un porcentaje de refuerzo del 2% con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

4.3.1.1 DUREZA (2% de Refuerzo)

$H_0: \mu_d = 94.86$ Brinell, No existe variación de Dureza.

$H_1: \mu_d \neq 94.86$ Brinell, Si existe variación de Dureza.

DUREZA BRINELL AL 2% DE REFUERZO		
Observaciones	X	X ²
1	94.95	9015.56
2	97.17	9442.60
3	97.17	9442.60
4	92.80	8611.89
5	97.17	9442.60
6	92.80	8611.89
7	99.47	9894.65
8	94.95	9015.56
9	104.31	10880.99
10	94.95	9015.56
Sumatoria	965.75	93373.88
Promedio (\bar{X})	96.58	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{93373.88 - \frac{(965.75)^2}{10}}{10 - 1}$$

$$S^2 = 11.84$$

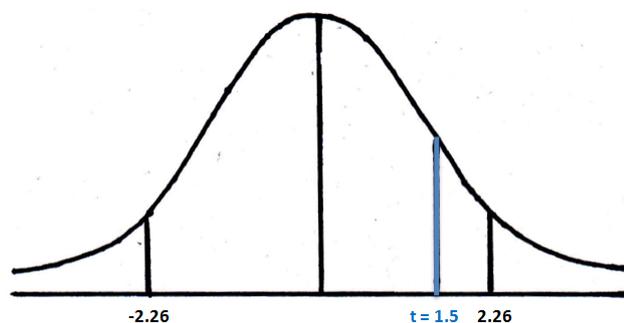
S = Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{11.84} = 3.44$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{96.58 - 94.86}{3.44} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = 1.5$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $10 - 1 = 9$ grados de libertad es el intervalo -2.26 a 2.26.

Como t es igual a 1.5 se acepta H_0 al nivel de significancia de 0.05. Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza al 2%

4.3.1.2 RESISTENCIA (2% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_r = 18.99$ Kpsi, No existe variación de Resistencia.

$H_1 = \mu_r \neq 18.99$ Kpsi, Si existe variación de Resistencia.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN AL 2% DE REFUERZO		
(Sut)	Klb/in2 (KPsi)	
Observaciones	X	X ²
1	18.58	345.11
2	19.27	371.40
3	19.36	374.86
4	18.90	357.29
5	19.17	367.65
Sumatoria	95.29	1816.31
Promedio	19.06	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{1816.31 - \frac{(95.29)^2}{10}}{10 - 1}$$

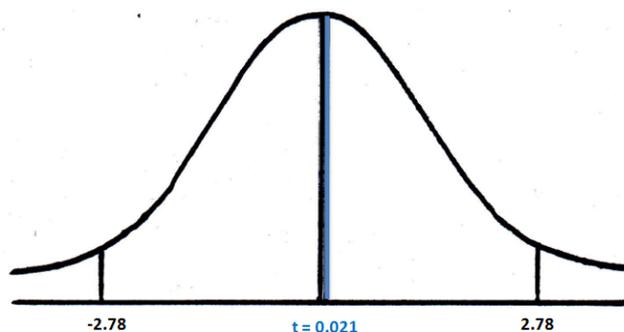
$$S^2 = 100.92$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{100.92} = 10.04$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{19.06 - 18.99}{10.04} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = 0.021$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $5-1 = 4$ grados de libertad es el intervalo -2.78 a 2.78 .

Como t es igual a 0.021 se acepta H_0 al nivel de significancia de 0.05 . Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia a la tracción sut al 2% .

4.3.1.3 TENACIDAD (2% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_t = 4.84$ Joules, No existe variación de Tenacidad.

$H_1 = \mu_t \neq 4.84$ Joules, Si existe variación de Tenacidad.

RESISTENCIA AL IMPACTO AL 2% DE REFUERZO		
Tenacidad (Joules)		
Observaciones	X	X ²
1	5	25.00
2	4.5	20.25
3	4.8	23.04
4	5	25.00
5	4.7	22.09
Sumatoria	24.00	115.38
Promedio	4.80	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

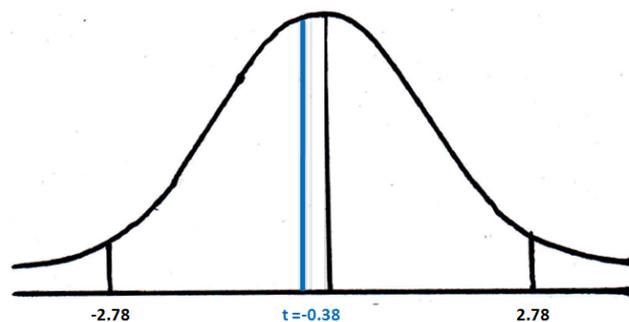
$$S^2 = \frac{115.38 - \frac{(24)^2}{5}}{5 - 1}$$

$$S^2 = 0.045$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0.045}$$

$$S = 0.212$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$



$$t = \frac{4.80 - 4.84}{0.212} \sqrt{5 - 1}$$

$$t = -0.38$$

Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $5 - 1 = 4$ grados de libertad es el intervalo -2.78 a 2.78 .

Como t es igual a -0.38 se acepta H_0 al nivel de significancia de 0.05 . Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia al Impacto al 2% .

4.3.2 Prueba t para 2 colas con un porcentaje de refuerzo del 3% con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

4.3.2.1 DUREZA (3% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_d = 94.86$ Brinell, No existe variación de Dureza.

$H_1 = \mu_d \neq 94.86$ Brinell, Si existe variación de Dureza.

DUREZA BRINELL AL 3% DE REFUERZO		
Observaciones	X	X ²
1	97.17	9442.60
2	99.47	9894.65
3	97.17	9442.60
4	92.80	8611.89
5	97.17	9442.60
6	97.17	9442.60
7	101.85	10373.47
8	94.95	9015.56
9	99.47	9894.65
10	94.95	9015.56
Sumatoria	972.19	94576.16
Promedio (\bar{X})	97.22	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{94576.16 - \frac{(972.19)^2}{10}}{10 - 1}$$

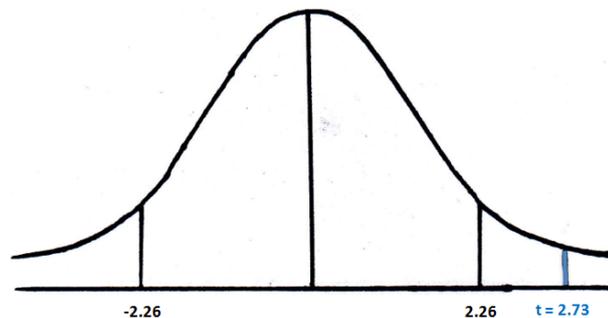
$$S^2 = 6.74$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{6.74} = 2.596$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{97.22 - 94.86}{2.596} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = 2.73$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $10 - 1 = 9$ grados de libertad es el intervalo -2.26 a 2.26.

Como t es igual a 2.73 se rechaza H_0 y se acepta H_1 con un nivel de significancia de 0.05. Es decir que si hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza al 3%.

4.3.2.2 RESISTENCIA (3% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_r = 18.99$ Kpsi, No existe variación de Resistencia.

$H_1 = \mu_r \neq 18.99$ Kpsi, Si existe variación de Resistencia.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN AL 3% DE REFUERZO		
Sut	Klb/in2 (KPsi)	
Observaciones	X	X ²
1	19.33	373.74
2	19.12	365.68
3	18.81	353.86
4	19.67	387.02
5	18.80	353.48
Sumatoria	95.74	1833.78
Promedio	19.15	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{1833.78 - \frac{(95.74)^2}{10}}{10 - 1}$$

$$S^2 = 101.91$$

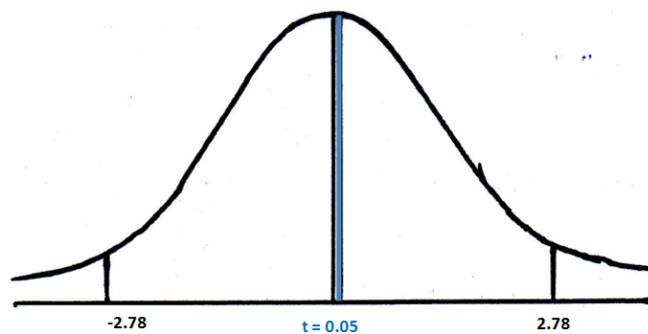
$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{101.91}$$

$$S = 10.09$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{19.15 - 18.99}{10.09} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = 0.05$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $5 - 1 = 4$ grados de libertad es el intervalo -2.78 a 2.78 .

Como t es igual a 0.05 se acepta H_0 al nivel de significancia de 0.05 . Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia a la tracción sut al 3% .

4.3.2.3 TENACIDAD (3% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_t = 4.84$ Joules, No existe variación de Tenacidad.

$H_1 = \mu_t \neq 4.84$ Joules, Si existe variación de Tenacidad.

RESISTENCIA AL IMPACTO AL 3% DE REFUERZO		
Tenacidad (Joules)		
Observaciones	X	X ²
1	4.5	20.25
2	5	25.00
3	4.7	22.09
4	4.7	22.09
5	5	25.00
Sumatoria	23.90	114.43
Promedio	4.78	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{114.43 - \frac{(23.90)^2}{5}}{5 - 1}$$

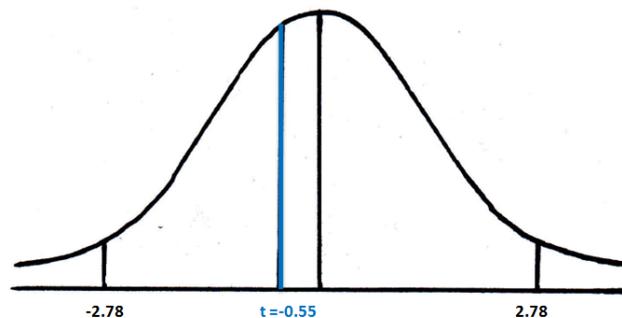
$$S^2 = 0.047$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0.047} = 0.217$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{4.78 - 4.84}{0.217} \sqrt{5 - 1}$$

$$t = -0.55$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $5 - 1 = 4$ grados de libertad es el intervalo -2.78 a 2.78 .

Como t es igual a -0.55 se acepta H_0 al nivel de significancia de 0.05 . Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia al Impacto al 3% .

4.3.3 Prueba t para 2 colas con un porcentaje de refuerzo del 4% con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

4.3.3.1 DUREZA (4% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_d = 94.86$ Brinell, No existe variación de Dureza.

$H_1 = \mu_d \neq 94.86$ Brinell, Si existe variación de Dureza.

DUREZA BRINELL AL 4% DE REFUERZO		
Observaciones	X	X²
1	94.95	9015.56
2	100.89	10178.61
3	93.87	8810.90
4	99.47	9894.65
5	97.17	9442.60
6	104.31	10880.99
7	94.95	9015.56
8	94.95	9015.56
9	104.31	10880.99
10	94.95	9015.56
Sumatoria	979.83	96150.96
Promedio	97.98	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{96150.96 - \frac{(979.83)^2}{10}}{10 - 1}$$

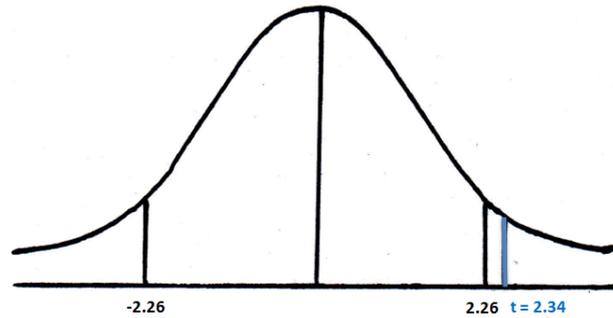
$$S^2 = 16.03$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{16.03} = 4$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{97.98 - 94.86}{4} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = 2.34$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $10 - 1 = 9$ grados de libertad es el intervalo -2.26 a 2.26 .

Como t es igual a 2.34 se rechaza H_0 y se acepta H_1 con un nivel de significancia de 0.05 . Es decir que si hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza al 4% .

4.3.3.2 RESISTENCIA (4% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_r = 18.99$ Kpsi, No existe variación de Resistencia.

$H_1 = \mu_r \neq 18.99$ Kpsi, Si existe variación de Resistencia.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN AL 4% DE REFUERZO		
Sut	Klb/in2 (KPsi)	
Observaciones	X	X ²
1	18.97	359.83
2	19.34	373.87
3	18.98	360.38
4	19.46	378.78
5	19.31	373.00
Sumatoria	96.06	1845.86
Promedio	19.21	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{1845.86 - \frac{(96.21)^2}{10}}{10 - 1}$$

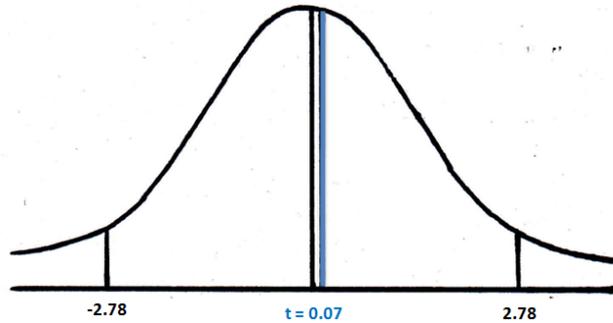
$$S^2 = 102.25$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{102.25} = 10.11$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{19.21 - 18.99}{10.11} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = 0.07$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $5 - 1 = 4$ grados de libertad es el intervalo -2.78 a 2.78 .

Como t es igual a 0.07 se acepta H_0 al nivel de significancia de 0.05 . Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia a la tracción sut al 4% .

4.3.3.3 TENACIDAD (4% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_t = 4.84$ Joules, No existe variación de Tenacidad.

$H_1 = \mu_t \neq 4.84$ Joules, Si existe variación de Tenacidad.

RESISTENCIA AL IMPACTO AL 4% DE REFUERZO		
Tenacidad (Joules)		
Observaciones	X	X ²
1	4.7	22.09
2	4.5	20.25
3	5	25.00
4	5	25.00
5	4.6	21.16
Sumatoria	23.80	113.50
Promedio	4.76	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{113.50 - \frac{(23.80)^2}{5}}{5 - 1}$$

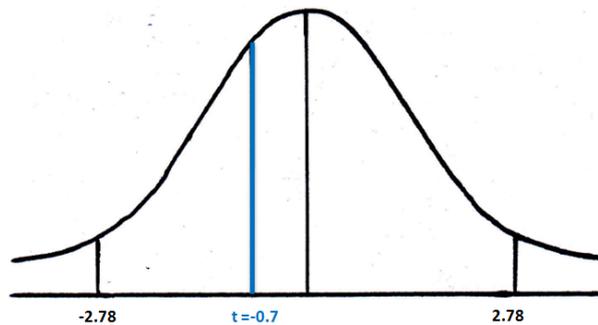
$$S^2 = 0.053$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0.053} = 0.23$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{4.76 - 4.84}{0.23} \sqrt{5 - 1}$$

$$t = -0.7$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $5 - 1 = 4$ grados de libertad es el intervalo -2.78 a 2.78 .

Como t es igual a -0.7 se acepta H_0 al nivel de significancia de 0.05 . Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia al Impacto al 4% .

4.3.4 Prueba t para 2 colas con un porcentaje de refuerzo del 5% con un nivel de significancia $\alpha=0.05$

4.3.4.1 DUREZA (5% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_d = 94.86$ Brinell, No existe variación de Dureza.

$H_1 = \mu_d \neq 94.86$ Brinell, Si existe variación de Dureza.

DUREZA BRINELL AL 5% DE REFUERZO		
Observaciones	X	X ²
1	94.95	9015.56
2	101.85	10373.47
3	104.31	10880.99
4	97.17	9442.60
5	94.95	9015.56
6	99.47	9894.65
7	94.95	9015.56
8	101.85	10373.47
9	99.47	9894.65
10	97.17	9442.60
Sumatoria	986.15	97349.10
Promedio	98.62	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{97349.10 - \frac{(986.15)^2}{10}}{10 - 1}$$

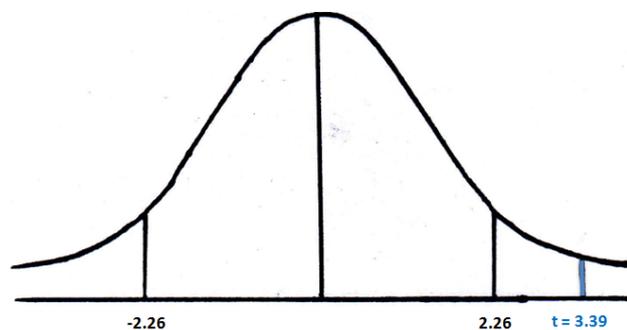
$$S^2 = 11.1$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{16.03} = 3.33$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{98.62 - 94.86}{3.33} \sqrt{10 - 1}$$

$$t = 3.39$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $10 - 1 = 9$ grados de libertad es el intervalo -2.26 a 2.26.

Como t es igual a 3.39 se rechaza H_0 y se acepta H_1 con un nivel de significancia de 0.05. Es decir que si hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de dureza al 5%.

4.3.4.2 RESISTENCIA (5% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_r = 18.99$ Kpsi, No existe variación de Resistencia.

$H_1 = \mu_r \neq 18.99$ Kpsi, Si existe variación de Resistencia.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN AL 5% DE REFUERZO		
Sut	Klb/in2 (KPsi)	
Observaciones	X	X ²
1	19.64	385.79
2	19.08	364.08
3	19.16	367.09
4	19.35	374.43
5	19.40	376.17
Sumatoria	96.63	1867.56
Promedio	19.33	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{1867.56 - \frac{(96.63)^2}{10}}{10 - 1}$$

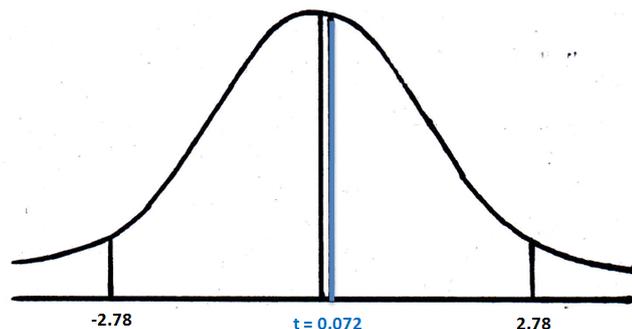
$$S^2 = 203.23$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{203.23}$$

$$S = 14.25$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{19.33 - 18.99}{14.25} \sqrt{10 - 1}$$



$$t = 0.072$$

Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $5 - 1 = 4$ grados de libertad es el intervalo -2.78 a 2.78 .

Como t es igual a 0.072 se acepta H_0 al nivel de significancia de 0.05 . Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia a la tracción sut al 5% .

4.3.4.3 TENACIDAD (5% de Refuerzo)

$H_0 = \mu_t = 4.84$ Joules, No existe variación de Tenacidad.

$H_1 = \mu_t \neq 4.84$ Joules, Si existe variación de Tenacidad.

RESISTENCIA AL IMPACTO AL 5% DE REFUERZO		
Tenacidad (Joules)		
Observaciones	X	X ²
1	4.5	20.25
2	5	25.00
3	4.5	20.25
4	4.7	22.09
5	5	25.00
Sumatoria	23.70	112.59
Promedio	4.74	

$$S^2 = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1}$$

$$S^2 = \frac{112.59 - \frac{(23.70)^2}{5}}{5 - 1}$$

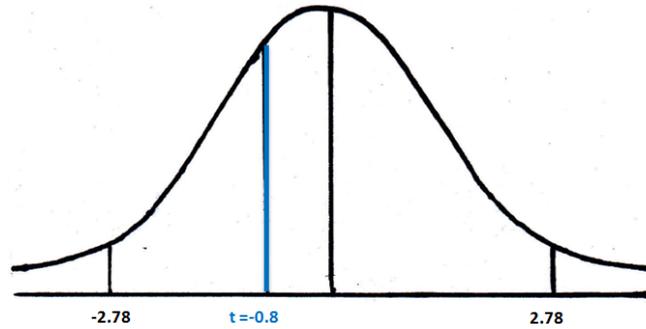
$$S^2 = 0.063$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0.063} = 0.251$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sqrt{N - 1}$$

$$t = \frac{4.74 - 4.84}{0.251} \sqrt{5 - 1}$$

$$t = -0.8$$



Aceptar H_0 si t se encuentra dentro del intervalo $-t_{.975}$ a $t_{.975}$ el cual para $5 - 1 = 4$ grados de libertad es el intervalo -2.78 a 2.78 .

Como t es igual a -0.8 se acepta H_0 al nivel de significancia de 0.05 . Es decir que no hay un incremento significativo para asumir que ha existido variación de resistencia al Impacto al 5% .

- Tanto la Tenacidad como la Resistencia a la Tracción no muestran un incremento o decremento suficiente al nivel de significancia 0.05 para demostrar que ha existido variación en sus valores.
- La dureza muestra un incremento significativo al nivel de significancia 0.05 a partir de 3% de refuerzo.

Debido a que existe una variación significativa en una de las variables al incrementarse el porcentaje de Carburo de silicio en la aleación **Se Acepta Y Se Verifica La Hipótesis H_1** .

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

Una vez realizado el análisis del Aluminio 4032 Reforzado con Partículas de Carburo de Silicio se puede anotar las siguientes conclusiones:

- Al observar los resultados de los ensayos de tracción, metalográficos, de dureza e impacto del compuesto obtenido por fundición con matriz metálica de aluminio 4032 con 5 porcentajes de refuerzo diferentes 0%, 2%, 3%, 4%, y 5% de carburo de silicio Grit 400 equivalente a un tamaño promedio de 25.8 micras (μm), se puede ver que la dureza y la resistencia a la tracción se incrementan. Sin embargo solo la dureza muestra un incremento significativo.
- La resistencia a la tracción (S_{ut}) tanto como las lecturas de resistencia a la cedencia (S_y) mejoran mientras se incrementa el porcentaje de refuerzo como muestran las figuras 4.1 y 4.2 dando un incremento no significativo.
- El porcentaje de elongación disminuye mientras aumenta el porcentaje de refuerzo como se puede observar en la figura 4.3.
- El porcentaje de reducción de área disminuye mientras aumenta el porcentaje de refuerzo como se puede observar en la figura 4.4. Esto quiere decir que mientras mayor porcentaje de refuerzo tenga el material, su ductilidad irá bajando.
- El módulo de Young se incrementa al en función del porcentaje de refuerzo agregado a la matriz como se observa en la figura 4.5. Esto quiere decir que la junta va perdiendo elasticidad a medida que el porcentaje de refuerzo aumenta.

- El tamaño de grano muestra una tendencia a mantenerse constante sin importar el porcentaje de refuerzo agregado como se verifica en la figura 4.6. El tamaño de grano depende más del proceso de obtención del material.
- La dureza muestra un incremento significativo a partir del 3% de refuerzo, a medida que aumenta el porcentaje de refuerzo también lo hace la dureza como se lo puede observar en la figura 4.7.
- La energía de rotura de impacto como se observa en la figura 4.8 tiende a disminuir de una forma no significativa conforme se incrementa el porcentaje de refuerzo.
- Dentro de los porcentajes de refuerzo evaluados, el que mejores propiedades mecánicas presenta es el CASO 6 compuesto obtenido por fundición de la matriz metálica de aluminio 4032 reforzada con el 5% de partículas de carburo de silicio (SiC) Grit 400 equivalente a 25.8 micras (μm).
- El CASO 6 en el cual se forma el compuesto por fundición de matriz de aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de silicio Grit 400 y mezclado por el método de Stir Casting presenta la mejor combinación de propiedades mecánicas en donde comparándolo con el CASO 2 que presenta la matriz escoriificada y desgasificada con el 0% de SiC: La resistencia a la tracción (Sut) se incrementa de 18.99 KPsi a 19.33KPsi (Fig.4.1) , la resistencia a la cedencia (Sy) se incrementa de 17.00 KPsi a 17.82 KPsi (Fig 4.2) y la dureza se incrementa de 94.86 KPsi a 98.62 KPsi (fig 4.7). El porcentaje de elongación disminuye de 2.14% A 1.65% (Fig. 4.4) contribuyendo a disminuir su ductilidad. El módulo de Young aumenta de 4.05 MPsi a 4.41 Mpsi que significa la disminución de elasticidad en el compuesto. Tanto la resistencia a la rotura de impacto, así como el tamaño de grano tienden a mantenerse con el incremento del refuerzo.
- La velocidad, el tamaño y disposición de las paletas son factores determinantes para el mezclado homogéneo y sin presencia de porosidad.

- Las peores propiedades mecánicas presento la fundición de aluminio al 0% de SiC sin escoriar ni desgasificar debido a la cantidad de poros y escoria que no fue liberada al tratarse de un material reciclado por lo cual se evidencia la necesidad de escorificar y desgasificar el material.
- El trabajar con una matriz con alto contenido de silicio y a temperaturas lo más cercanas al punto de fusión cuidando que no se incremente mucho ayudo a obtener un compuesto libre de Carburo de Aluminio.
- En base a las propiedades obtenidas se determino que la aleación con un 5% de refuerzo muestra la mejor combinación, con un incremento significativo de dureza, y un notable incremento en su resistencia al desgaste también se observó disminución de la maquinabilidad, al maquinar el compuesto en el torno desgastó la punta de la cuchilla de acero cobaltado. Estas propiedades pueden ser aprovechadas en la fabricación de discos y tambores de freno ya que al unirse las propiedades abrasivas del carburo de silicio, su incremento a la resistencia al desgaste, su incremento de dureza, las propiedades de disipación térmica del aluminio y su bajo peso arrojan como resultado un material con mayor agarre, más liviano y con mayor disipación térmica que los convencionales.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Utilizar todos los elementos de protección al realizar la fundición con la finalidad de evitar quemaduras en el cuerpo.
- Utilizar una mascarilla apropiada normalizadas con filtro para neblinas acidas y vapores de aceites ya que cuando se trabaja con elementos reciclados estos generan mucha porosidad.
- Escorificar y des-gasificar la colada cuando se utiliza materia prima reciclada (Aluminio de pistón) debido a la gran cantidad de poros y discontinuidades que genera la escoria al evaporarse.
- Utilizar paletas grandes que sean tan solo de un centímetro más bajos que la colada añadida y medio centímetro separada de la base y los extremos.

La velocidad de mezclado debe ser lenta con la finalidad de evitar porosidad en la colada.

- Se debe tener cuidado de no elevar mucho la temperatura para evitar la formación de Carburo de Aluminio la cual es perjudicial para la aleación ya que la hace menor resistente a la tracción y al impacto.
- Si se desea trabajar con una aleación de bajo porcentaje de silicio se debe dar un recubrimiento al Carburo de Silicio con la finalidad de que no genere la formación de Carburo de aluminio, se debe mantener la temperatura un poco más baja que la de fusión aprovechando las propiedades trixótropicas del aluminio es decir a temperaturas un poco más bajas que la de fusión se comporta como sólido sin presión y como líquido bajo presión.
- Para lograr compuestos con mayor porcentaje de refuerzo se deberá incrementar la velocidad de mezclado y proteger la mezcla con un desgasificante natural con un gas noble como Argón. Nitrógeno, etc.
- Utilizar Instrumentos más graduados y precisos o digitales para determinar la energía de rotura de impacto en materiales que presentan poca resistencia.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA.

6.1 DATOS INFORMATIVOS.

Una vez realizado el análisis del compuesto de matriz de Aluminio 4032 Reforzado con Partículas de Carburo de Silicio Grit 400 (25.8 μ) obtenida por Stir Casting y colado en arena se ha determinado que se obtiene una mejor combinación de propiedades mecánicas con un 5 % de refuerzo.

Constituye un aporte importante para el área de materiales, debido a que al plantear el procedimiento para la obtención del compuesto se también se coloca una piedra más hacia este novedoso de la investigación.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de materiales de Ingeniería civil y mecánica de la universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua; entre los equipos de laboratorio para la elaboración de la presente investigación se puede mencionar: El horno de inducción para fundir el aluminio, la máquina universal para el ensayo de tracción, los equipos necesarios para el ensayo metalográfico, durómetro, péndulo Charpy para ensayo de impacto que fueron útiles para realizar la investigación.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.

A nivel global existen investigaciones para el refuerzo del aluminio mediante partículas de carburo de silicio, sin embargo, al tratarse de un material obtenido artificialmente algo joven solo se presentan resultados en forma muy general, y, no detallan el proceso paso a paso para obtener el compuesto.

Luego de la investigación realizada se determinó que el compuesto de matriz de Aluminio 4032 Reforzado con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio Grit 400

(25.8 μ) obtenida por Stir Casting y colado en arena es la que mejores propiedades presenta.

6.3 JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación se la realizo con la finalidad de ofrecer información útil sobre el comportamiento de dos materiales en estados completamente diferentes, uno sólido y otro líquido. Resulta algo obvia la suposición que por diferencia de densidades el medio líquido va a intentar hundir o expulsar a los sólidos presentes en la misma y que se deberá formar un vórtice que mantenga mezclados a los dos medios el tiempo suficiente hasta que el medio líquido solidifique, sin embargo, este proceso aparentemente simple demanda superar varios inconvenientes que surgen en el proceso.

Estos inconvenientes se los ha ido superando en la investigación apoyados en el marco teórico y en las observaciones obtenidas en las prácticas obteniendo como resultado un compuesto con mejores propiedades mecánicas comparadas con el resto de fundiciones obtenidas bajo el mismo proceso.

Es de gran importancia centrarse en este compuesto con un refuerzo del 5% para crear una guía que ayude a los estudiantes de ingeniería mecánica para posteriores estudios, tomándolo como punto de partida para ampliar y mejorar el proceso.

6.4 OBJETIVOS.

6.4.1 Objetivo general:

- Determinar el procedimiento de obtención del aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de silicio, utilizando como método de mezcla stir casting.

6.4.2 Objetivos Específicos:

- Evaluar la resistencia a la tracción, dureza, impacto del Compuesto de Aluminio 4032 Reforzado con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio.

- Realizar procedimientos de ensayo de tracción, dureza, impacto, y análisis metalográfico.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

El presente análisis fue factible de realizarlo debido a su costo manejable, los materiales se los puede conseguir en el mercado nacional, existe información necesaria y disponible, se cuenta con normativa necesaria, los laboratorios de Materiales de la facultad de ingeniería Civil y Mecánica disponen de los equipos y las herramientas necesarias para poder realizar la presente propuesta entre ellos: El horno de inducción, Cajas de moldeo y arena verde, Máquina universal para el ensayo de tracción, Equipo para el ensayo metalográfico, microscopio, reactivos químicos, durómetro que estuvieron a disposición del presente trabajo.

6.6 FUNDAMENTACIÓN.

Los cálculos realizados se fundamentaron en la teoría del capítulo II, en donde se muestra las fórmulas necesarias para la determinación de los resultados.

6.6.1 Cálculos del Ensayo de Tracción

DATOS:

Probeta: ET 6.1.
 Porcentaje de refuerzo: 5%
 Longitud de calibración inicial: $L_o = 2$ in
 Diámetro inicial: $\varnothing_o = \frac{1}{2}$ in

Tabla 6.1 Resultados registrados del ensayo a tracción:

RESULTADOS REGISTRADOS:			
Carga máxima:	1753 Kg = 3856.6 Lb	Longitud inicial:	2 in
Longitud Final:	2.034 in	Deformación máxima:	0.034 in
Diámetro Inicial:	0.5 mm	Diámetro Final:	0.4796 in

Fuente: Autor

6.6.1.1 Cálculos de Resistencia Última a la Tracción.

Área inicial:

$$A_o = \frac{\pi(\phi_o)^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi(0.5 \text{ in})^2}{4}$$

$$A_o = 0.19635 \text{ in}^2$$

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o}$$

$$S_{ut} = \frac{3856.6 \text{ Lb}}{0.19635 \text{ in}^2}$$

$$S_{ut} = 19641.5 \text{ Lb/in}^2 \text{ (psi)}$$

6.6.1.2 Cálculo de Resistencia a la Cedencia.

El límite elástico al 0.2% se determina a partir del diagrama de tensión – deformación. Se dibuja una línea paralela a la parte elástica a una deformación igual a 0.002 plg/plg. [1][SÁNCHEZ, 2010]

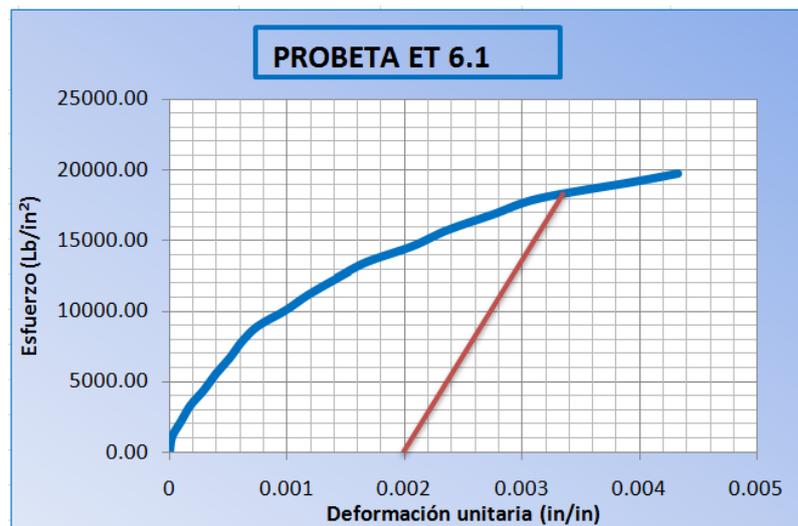


Figura 6.1 Determinación del límite elástico convencional al 0.2% de deformación en la probeta ET 6.1 del compuesto de matriz de aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de Carburo de Silicio Grit 400 obtenido por stir casting y colado en arena

Fuente: Autor.

En la figura 6.1 se puede observar que la resistencia a la cedencia (S_y). Tiene un valor aproximado de $18200 \frac{Lb}{in^2}$ (Psi).

6.6.1.3 Cálculo del Porcentaje de Elongación.

$$\%EL = \left(\frac{\text{longitud final} - \text{longitud inicial}}{\text{longitud inicial}} \right) \times 100 = \left(\frac{l_f - l_o}{l_o} \right) \times 100$$

$$\%EL = \left(\frac{2.034 - 2}{2} \right) \times 100$$

$$\%EL = 1.7 \%$$

6.6.1.4 Cálculo del Porcentaje de Reducción de Área.

Área final:

$$\text{Área final} = \frac{\pi(\text{Diámetro final})^2}{4} = \frac{\pi(\phi_f)^2}{4}$$

$$A_f = \frac{\pi(0.4796 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_f = 0.18066 \text{ mm}^2$$

$$\text{Porcentaje de Reducción de Área} = \left(\frac{\text{Área inicial} - \text{Área final}}{\text{Área inicial}} \right) \times 100$$

$$\%RA = \left(\frac{A_o - A_f}{A_o} \right) \times 100$$

$$\%RA = \left(\frac{0.19635 - 0.18066}{0.19635} \right) \times 100$$

$$\%RA = 8.00 \%$$

6.6.1.5 Cálculo de módulo de Young.

El cálculo del módulo de Young se lo realizo de acuerdo a la norma ASTM E 111:97.

$$\text{Módulo de Young, } E = \frac{(\sum(XY) - k\bar{X}\bar{Y})}{\sum X^2 - k\bar{X}^2}$$

Donde:

Y = Esfuerzo axial aplicado

X = Deformación correspondiente en términos de la carga P y la medida de área.

k = Número de pares XY .

$$\bar{X} = \text{Promedio de valores } X. \left(\frac{\sum X}{k} \right)$$

$$\bar{Y} = \text{Promedio de valores } Y. \left(\frac{\sum Y}{k} \right)$$

Tabla 6.2 Parámetros calculados para determinar el módulo de elasticidad:

Deformación ϵ in/in	Esfuerzo σ , Lb/in ²		
X	Y	XY	X²
0	0	0	0
1.9685E-05	1120.450799	0.022056118	3.87501E-10
9.84252E-05	2240.901599	0.220561181	9.68752E-09
0.000177165	3361.352398	0.595515189	3.13876E-08
0.000295276	4481.803197	1.323367086	8.71877E-08
0.000393701	5602.253997	2.20561181	1.55E-07
0.000511811	6722.704796	3.440754423	2.61951E-07
0.000610236	7843.155596	4.786177627	3.72388E-07
0.000748031	8963.606395	6.705059902	5.59551E-07
0.000984252	10084.05719	9.925253144	9.68752E-07
0.001181102	11204.50799	13.23367086	1.395E-06
0.001417323	12324.95879	17.46844553	2.0088E-06
0.001673228	13445.40959	22.49724046	2.79969E-06
0.002066929	14565.86039	30.1066012	4.2722E-06
0.002362205	15686.31119	37.0542784	5.58001E-06
0.002755906	16806.76199	46.31784801	7.59502E-06
0.003149606	17927.21279	56.46366233	9.92002E-06
0.003937008	19047.66359	74.99080153	1.55E-05
0.004330709	19641.50251	85.06162506	1.8755E-05
SUMATORIA:	0.026712598	191070.4748	412.41853
			7.02721E-05

Fuente: Autor

$$\begin{aligned}
k &= 19 \\
\sum XY &= 412.419 \\
\sum X^2 &= 7.027E-05 \\
\bar{X} &= 0.001405926 \\
\bar{Y} &= 10056.34078 \\
\bar{X}^2 &= 1.97663E-06
\end{aligned}$$

$$\text{Módulo de Young, } E = \frac{(412.419 - (19 * 0.001405926 * 10056.34078)) \text{ Lb}}{(7.027E - 05) - (19 * 1.97663E - 06)} \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

$$\text{Módulo de Young, } E = 4395000.4 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2} = 30.3 \text{ GPa.}$$

6.6.2 Cálculos del ensayo de dureza.

Datos:

Diámetro del Identador (D) = 2.5mm

Fuerza aplicada (F) = 62.5 Kg

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

Donde:

F = Fuerza aplicada en kilogramos.

D = Diámetro del penetrador en mm.

d = Diámetro de la impresión en mm.

$$HB = \frac{62.5}{\left(\frac{\pi}{2}\right) 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - 0.9^2})} = 94.95 \text{ HB}$$

Tabla 6.3 Determinación de la dureza del compuesto matriz de aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de Silicio:

DUREZA BRINELL				
N. de huella	Carga (kg)	Diametro (D) de la bola (mm)	Diametro (d) de la huella (mm)	Dureza brinell HBS
1	62.5	2.5	0.9	94.95
2	62.5	2.5	0.87	101.85
3	62.5	2.5	0.86	104.31
4	62.5	2.5	0.89	97.17
5	62.5	2.5	0.9	94.95
6	62.5	2.5	0.88	99.47
7	62.5	2.5	0.9	94.95
8	62.5	2.5	0.87	101.85
9	62.5	2.5	0.88	99.47
10	62.5	2.5	0.89	97.17
SUMATORIA:				986.153
DUREZA BRINELL PROMEDIO:				98.615

Fuente: Autor

6.6.3 Cálculo del Ensayo de Impacto.

Tabla 6.4 Resultado del ensayo de Impacto del compuesto matriz de aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de Silicio:

ENSAYO DE IMPACTO	
N. Muestra	Tenacidad (Joules)
ET 6.1	4.5
ET 6.2	5
ET 6.3	4.5
ET 6.4	4.7
ET 6.5	5
Sumatoria	23.7
Tenacidad promedio	4.74

Fuente: Autor

6.6.4 Cálculos del Ensayo Metalográfico.

6.6.4.1 Determinación del Tamaño de Grano.

El tamaño de grano fue determinado por la norma ASTM E-112.96 Utilizando el método planimétrico de Jeffries.

Material base del compuesto matriz aluminio 4032 reforzado con el 5% de SiC Grit 400 obtenido por Stir Casting y Colado en arena verde.

Contando los Granos a una magnificación de 100X. De la Tabla 5 norma ASTM E-112.96 tenemos:

$$f = 2 \text{ por } \textit{Jeffries} (100X)$$

Diámetro del círculo inscrito en la ampliación= 79.8 mm.

$$N_i = 6$$

$$N_{int} = 9$$

$$NA = f \left(N_i + \frac{N_{int}}{2} \right)$$

Donde:

$$NA = \text{Número de granos por } mm^2$$

$$N_i = \text{Número de granos completos en la prueba de círculo}$$

$$N_{int} = \text{Número de granos Interceptados por la prueba de círculo}$$

$$f = \text{Multiplicador } \textit{Jeffries} \text{ para el método planimétrico}$$

$$NA = 2 \left(6 + \frac{9}{2} \right)$$

$$NA = 2(10.5) = 21$$

De la Tabla 6 norma ASTM E-112.96 tenemos la siguiente ecuación:

$$G = (3.321928 \log_{10} NA) - 2.954$$

$$G = (3.321928 \log_{10} 21) - 2.954$$

El número de grano ASTM = $G = 1.44$

6.6.5 Cálculo de Desgaste Adhesivo en seco.

Datos:

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
ENSAYO DE DESGASTE ADHESIVO						
Datos Informativos:						
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Metalografía de Materiales - FICM			
Tipo de estudio:	De laboratorio		Ensayo N°	EDA 02		
Solicitado por:	Ing. Mg. Henry Vaca		Realizado por:	Luis Santana		
Supervisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca		Fecha Inicio:	20/01/2014		
Normas Aplicables:	ASTM G83-96		Fecha Finalización:	20/01/2014		
PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMA ASTM G83-96						
Procedimiento "B"	Fuerza Aplicada (P)			Revoluciones (rev)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)
	(N)	(Kgf)	(lb)			
	71.2	7.26	16	40,000	400	100
Tolerancia 3%			Tolerancia 2%			
Identificación del componente de estudio:						
Probeta Estática	Material:	Aluminio Fundido + 5%SiC		Designación :	DIN A332F +5%SiC	
	Densidad:	2.74	gr/cm ³	Dureza:	98.62	HB
	Longitud:	103	Mm	Diámetro:	12.7	mm
	DUREZA:			33.78		Kg/mm ²
Probeta Móvil	Material:	Aluminio Fundido + 5%SiC		Designación :	DIN A332F +5%SiC	
	Densidad:	2.74	gr/cm ³	Dureza:	98.62	HB
	Longitud:	99	Mm	Diámetro:	12.7	mm
	DUREZA:			33.78		Kg/mm ²
Tipo de aparato:			Cilindros Cruzados			
Tipo de movimiento:			Deslizamiento Simple			
Tipo de lubricación:			Seca (sin lubricación)			
Acondicionamiento de la superficie:			Pulido mecánico			
Rugosidad de la superficie:	Lisa		Limpieza:	Alcohol Etflico		
Observaciones						

- Cálculo de la densidad:

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Donde:

$\delta = \text{Densidad}$

$m = \text{masa}$

$v = \text{Volumen}$

$$v = l * \pi * r^2$$

Donde:

$l = \text{longitud de la probeta}$

$r = \text{Radio de la probeta}$

Datos:

$$m = 19.8365\text{gr}$$

$$l = 1.6\text{cm}$$

$$r = 1.2\text{cm}$$

$$v = 1.6 * \pi * 1.2^2 = 7.2382\text{cm}^3$$

$$\delta = \frac{m}{v} = \frac{19.8365}{7.2382} = 2.74 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- **Cálculo del desgaste:**

$$\text{Desgaste} = m_i - m_o$$

Donde:

$m_i = \text{masa inicial}$

$m_o = \text{masa final}$

Probeta estática

Datos:

$$m_i = 36.0526\text{gr}$$

$$m_o = 36.0245\text{gr}$$

$$\text{DesgasteEstático} = 36.0526 - 36.0245 = 0.0281\text{gr} = 28.1\text{mg}$$

Probeta móvil

Datos:

$$m_i = 34.3432\text{gr}$$

$$m_o = 34.2303\text{gr}$$

$$\text{DesgasteMóvil} = 34.3433 - 34.2303 = 0.1130\text{gr} = 113.0\text{mg}$$

Desgaste total:

$$\text{Desgaste Total} = \text{Desgaste estático} + \text{Desgaste móvil}$$

$$\text{Desgaste Total} = 28.1\text{mg} + 113.8\text{mg} = \mathbf{141.1\text{mg}}$$

Volumen material perdido o volumen de desgaste:

$$\text{Volumen material perdido} = \Sigma\Delta m = \frac{\text{Desgaste Total}}{1000 * \delta}$$

$$\Sigma\Delta m = \frac{141.1}{2.74}$$

$$\Sigma\Delta m = \mathbf{51.48\text{mm}^3}$$

Distancia deslizada:

$$L = \pi * \#rev * D_p$$

Donde:

L= Distancia deslizada

rev= Número de revoluciones que gira la probeta= 40000 revoluciones

D_p= Diámetro de la probeta= 12.7mm

$$L = \pi * 40000 * 12.7$$

$$L = 1595929.068\text{mm}$$

Velocidad de desgaste (Vd):

$$Vd = \frac{\Sigma\Delta m}{t}$$

Donde:

t = Tiempo de desgaste = 100min

$$Vd = \frac{51.48\text{mm}^3}{100\text{min}}$$

$$Vd = 0.5148 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$$

Valor K Experimental:

$$K = \frac{\Sigma \Delta m * H}{P * L}$$

Donde:

K = Valor de coeficiente de desgaste adhesivo en seco

$\Sigma \Delta m$ = Volumen de desgaste = 51.48mm³

H = Dureza en $\text{Kgf}/\text{mm}^2 = 33.78 \text{Kgf}/\text{mm}^2$

(Transformamos la Dureza Brinell obtenida en los ensayos y la transformamos interpolándola del anexo 7)

P = Carga Aplicada normal = 7.26Kgf

L = Distancia de deslizamiento=1595929.068mm

$$K = \frac{51.48 * 33.78}{7.26 * 1595929.068}$$

K = 1.45E-04

6.7 METODOLOGÍA. MODELO OPERATIVO.

6.7.1 Reforzamiento del aluminio con partículas de carburo de silicio

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Procedimiento para realizar el ensayo de tracción de probetas de Aluminio 4032 reforzadas con el 5% de Carburo de Silicio (SiC).					
Código: EFA – SiC – 01		Fecha de Elab. 27/06/2013		Revisión: 00	
Elaborado por: Luis Santana		Revisado por: Luis Santana		Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín	
<p>1.- OBJETIVO.</p> <p>Obtener el Compuesto de Aluminio 4032 reforzado con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio (SiC).</p> <p>2.- ALCANCE.</p> <p>Establecer el procedimiento para realizar el Reforzamiento del Aluminio con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio por Dispersión de Partículas en la Solución Líquida.</p> <p>3. GENERALIZACIÓN.</p> <p>El Procedimiento sirve para Obtener Aluminio Reforzado con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio Mezclado con Stir Casting por el método de Dispersión de Partículas en la Solución Líquida. Para el caso propuesto se utilizó Partículas de Carburo de Silicio #400 (37 micras) y Aluminio 4032 obtenido de Pistones Desechados de Vehículos Chevrolet Luv 2.2. El Horno utilizado fue El Horno de Inducción.</p> <p>4.- REALIZACIÓN DEL PROCESO</p> <p>Para Obtener el Aluminio 4032 Reforzado con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio se realiza los siguientes pasos:</p> <p>Preparación del material.</p> <p>Preparación de la caja de Arena.</p> <p>Fundición y reforzamiento del aluminio 4032.</p>					

Evaluación de Resultados.

4.1. PREPARACIÓN DEL MATERIAL

Pistones de Aluminio 4032 reciclados como se encuentran en mecánicas y rectificadoras.



Figura 6.2 Pistones 4032 reciclados en rectificadoras y mecánicas.

Fuente: Autor.

4.1.1.- Pre limpieza de pistones

El Prelavado es necesario para suavizar las impurezas adheridas al pistón por aceites quemados en la cámara de combustión del motor. Sin este paso la limpieza posterior es muy difícil.

Se realiza un prelavado bañando en soluciones químicas a los pistones por 30 min para suavizar las grasas y aceites adheridos a ellos.



Figura 6.3 Prelavado de Pistones – Baño en solución química

Fuente: Autor.

Posteriormente se inyecta agua caliente a presión para limpiar los vestigios de grasa, aceites y hollín adheridos al pistón.



Figura 6.4 Lavado a presión con agua caliente.

Fuente: Autor

4.1.2. Rotura de los pistones.

Romper los pistones es muy necesario debido a:

- La boca pequeña del crisol.
- Facilita la limpieza en lugares inaccesibles sin este paso.
- Permite que se genere un mejor campo en el horno de inducción al colocarlos en disposición más compacta.
- Se puede colocar mayor masa de aluminio para fundirlo en mejor tiempo.



Figura 6.5 Prensa Hidráulica utilizada para la rotura de los pistones.

Fuente: Autor.



Figura 6.6 Pistones rotos por la prensa.

Fuente: Autor.

4.1.3. Limpieza final de los pistones.

Como limpieza final de los pistones se los cepilla con ayuda de un cepillo de alambre circular giratorio acoplado a un esmeril.

Mediante este proceso se elimina hasta un 80% de la escoria que podría haber quedado adherida a los pistones rotos.



Figura 6.7 Pistones cepillados. (Limpieza Final)

Fuente: Autor.

4.1.4. Preparación de la carga.

1. Para pesar la carga es indispensable contar con una balanza de precisión.
2. Ensamblar la balanza con sus aditamentos.
3. Conectar y encender la balanza de precisión.
4. Encerar la balanza.
5. Añadir la cantidad de material requerida para la carga de fundición.



Figura 6.8 Carga de Aluminio 4032 Pesada en Balanza de Precisión.

Fuente: Autor.

4.2. MOLDEO DE PROBETAS.

Para el estudio del Aluminio 4032 Reforzado con Partículas de Carburo de Silicio se moldea probetas de sección cilíndricas de 25mm de diámetro por 200 mm de largo y probetas de sección rectangular de 80mm x 80mm x 20mm.

4.2.1. Fabricación de la caja de Arena.

En caso de no existir una caja de moldeo acorde a las dimensiones de la probeta se deberá fabricarla.

La caja de moldeo constan de 2 partes: Un macho y una Hembra

El macho debe tener guías salientes que encajen en las guías entrantes de la hembra para evitar que se mueva el modelo al momento del ensamble de las cajas.



Figura 6.9 Caja de moldeo. (A la izquierda se encuentra la parte con guías macho y a la derecha con guías hebra)

Fuente: Autor.

4.2.2. Preparación de la Arena.

La arena utilizada en la práctica es arena verde de mina que no ha sufrido un curado, es decir, que no se ha endurecido por horneado. Es importante realzar el hecho de que la arena suministrada por fundidora Laser debido a su composición posee propiedades aglutinantes naturales por lo cual no se requirió añadir bentonita para mejorar la plasticidad y moldeabilidad.

4.2.2.1. Humidificación de la Arena

Para preparar la arena se la debe humedecer hasta alcanzar un 7,5% de humedad, o realizando la prueba del puño, la cual consiste en apuñar la arena y soltarla hasta que tome la forma interna de la mano sin deshacerse.



Figura 6.10 Prueba del puño. (Arena Verde)

Fuente: Autor.

4.2.2.2. Tamizado de la arena

Debido a las propiedades aglutinantes de la arena esta tiende a formar grumos, los mismos que se desprenderán de la forma adoptada del modelo dañando la probeta final. La arena debe ser tamizada lo más fina posible, ya que de esto dependerá el

acabado de la pieza que se obtenga.

Para la modelación de las piezas se utilizó la malla # 80 equivalente a 185 micras.



Figura 6.11 Arena tamizada. (Malla #80)

Fuente: Autor.

4.3.1. Modelación de las probetas.

Es recomendable mojar las paredes de la caja para mejorar la adherencia de la arena de moldeo.

4.3.1.1. Moldeo a probeta cilíndrica.

En la práctica todo tipo de modelos y probetas siguen el mismo procedimiento como se detalla a continuación:

Cuando se trata de modelos cilíndricos es recomendable sobredimensionar el diámetro del modelo y cortarlo transversalmente en 2 partes iguales con la finalidad de facilitar el desmoldeo. Debido al corte se pierden de 2 a 5 mm en función de la sierra.



Figura 6.12 Modelo cilíndrico cortado en 2 partes iguales.

Fuente: Autor.

1. Humedecer las paredes de las cajas de moldeo con la finalidad de que la arena de moldeo se adhiera a las paredes.



Figura 6.13 Paredes de las cajas de moldeo humedecidas con un chisguete.

Fuente: Autor.

2. Colocar la mitad inferior de la caja (guías tipo hembra) invertida, es decir con las guías boca abajo.
3. Dentro de la caja colocar boca abajo la mitad de la probeta previamente cortada.



Figura 6.14 Caja inferior invertida con la mitad del modelo cilíndrico boca abajo.

Fuente: Autor.

4. Colocar la arena fina tamizada y preparada previamente cubriendo el modelo y apisonarla alrededor del mismo.
5. Agregar arenas de relleno.
6. Atacar la arena apisonándola hasta que tenga buena consistencia para que sostenga la forma y permita la permeabilidad de la misma.
7. Continuar con el paso 4 y 5 hasta llegar aproximadamente 1 centímetro antes de desbordar la caja.
8. Añadir más arena fina tamizada hasta que desborde unos 2 centímetros en borde y atacarla.
9. Nivelar la arena de la superficie aplanándola arrastrando la arena sobrante con un perfil plano.



Figura 6.15 Nivelado de la caja de moldeo con un perfil plano.

Fuente: Autor.

10. Invertir la caja inferior.
11. Colocar la otra mitad del modelo.
12. Colocar guías a los lados del modelo con la finalidad que este no se mueva.

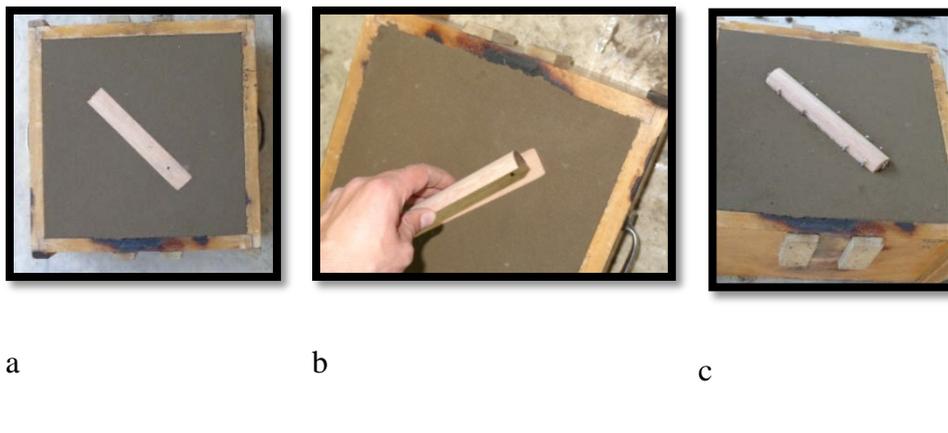


Figura 6.16 Ensamble de la parte superior del modelo. a) Caja invertida, b) Centrado de la parte superior del modelo, c) Inmovilizado del modelo con guías.

Fuente: Autor.

13. Poner el par superior de la caja (Con las guías tipo macho) sobre la caja inferior.
14. Aspergear granos de arena seca muy fina con la finalidad que no se pegue la caja superior con la inferior.
15. Ubicar un bebedero cónico de entrada y uno de salida que serán los ductos que conduzcan el metal a la cavidad creada al retirar el modelo.



Figura 6.17 Ensamble del par superior de la caja de moldeo y ubicado de los bebederos.

Fuente: Autor.

16. Repetir los pasos del 3 a 8.
17. Punzonar la arena para mejorar la permeabilidad de la misma.
18. Retirar los bebederos.
19. Agrandar los bebederos para mejorar la entrada del metal.
20. Separar el par de cajas de moldeo.

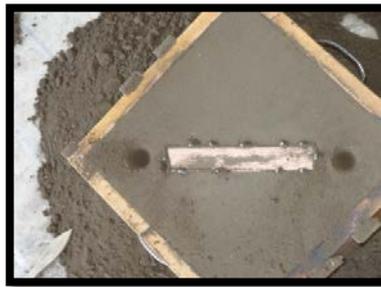


Figura 6.18 Caja de moldeo inferior separada.

Fuente: Autor.

21. Extraer los modelos con cuidado. Es recomendable dar suaves golpes para facilitar el desmoldeo.
22. Abrir canales de distribución que comunique el modelo con los bebederos.



Figura 6.19 Forma del modelo en la arena con los canales de distribución.

Fuente: Autor.

23. Limpiar y soplar los residuos de arena atrapados en el molde y en los bebederos.
24. Secar la arena con un mechero a gas, poniendo énfasis en la sección que ha tomado la forma de los modelos.



Figura 6.20 Secado de la arena de moldeo con mechero a gas.

Fuente: Autor.

25. Ensamblar las cajas haciendo coincidir las guías de la caja superior a las de la caja inferior.
26. Asegurarlas para que no se abran con la presión del metal líquido.

Nota: Para la realización del modelo rectangular se deberá seguir el mismo procedimiento omitiendo los pasos 11 y 12.

4.3. FUNDICIÓN Y REFORZAMIENTO DEL ALUMINIO 4032

4.3.1. Fundición del Aluminio 4032.

El procedimiento más idóneo resultante de las diversas pruebas para reforzar al aluminio aleado con partículas de carburo de silicio es el siguiente:

1. Limpiar totalmente todas las partes del crisol, para evitar contaminaciones del mismo.
2. Revisar que todas las partes y elementos del horno de inducción se encuentren en buen estado y funcione con normalidad.
3. Preparar y centrar el mezclador de aluminio (Stircasting) de tal forma que la campana encaje perfectamente en la base porta crisol.
4. Abrir el flujo de agua que circulará a través del horno por 3 minutos con la finalidad que no exista aire en los conductos por 1 minuto aproximadamente.
5. Revisar que no existan fugas de agua.
6. Conectar el horno de inducción y activar el breaker.

7. Encender el horno y verificar que no exista ninguna alarma encendida en el panel, en caso de existir corregir la falla.
8. Introducir los parámetros con los que va a trabajar el horno.
Tiempo de calentamiento (10), Tiempo de permanencia (30), Tiempo de enfriamiento (10). Perilla reguladora del poder de calentamiento al 50%, Perilla reguladora del Poder de retención al 50%.



Figura 6.21 Panel de control del Horno de inducción.

Fuente: Autor.

9. Colocar el mando en manual.
10. Presionar el botón verde de inicio de secuencia y mantener el horno encendido por 5 minutos sin carga solo con el crisol de grafito con la finalidad de evaporar la humedad del mismo.
11. Agregar la carga de aluminio 4032 con precaución ayudándonos de una pinza.
12. Cubrir la boca del crisol con una manta térmica para evitar fugas de calor.



Figura 6.22 Crisol de Grafito Aislado con Lana Térmica.

Fuente: Autor.

13. Esperar 15 minutos hasta que funda la colada.
14. Destapar la boca del crisol y hundir el aluminio que pudiera no haber caído al fondo.
15. Cubrir la boca del crisol y dejar permanecer 5 minutos más.
16. Retirar la manta térmica y agregar la carga de escorificador.



Figura 6.23 Adición del escorificador a la colada.

Fuente: Autor.

17. Mezclar la colada manualmente hasta que deje de emanar humo del descoriador.



Figura 6.24 Mezclado manual de la colada.

Fuente: Autor.

18. Retirar la escoria formada en la superficie de la colada con ayuda de una pequeña pala.



Figura 6.25 Limpieza de la escoria superficial de la colada.

Fuente: Autor.

19. Agregar el desgasificador y mezclar manualmente hasta que deje de emanar burbujas.
20. Retirar la escoria superficial de la superficie de la colada.

4.3.2.- Reforzamiento con Carburo de Silicio (SiC).

21. Bajar la campana del stircasting y asegurarla contra la base porta crisol.



Figura 6.26 Descenso de la campana del Stircasting.

Fuente: Autor.

22. Encender en la velocidad más baja del motor del taladro e ir la subiendo progresivamente hasta alcanzar la velocidad de 400 R.p.m.
23. Agregar la carga de carburo de silicio precalentado previamente a 550°C de 0.5 gramos en 0.5 gramos por el conducto en la parte superior de la campana que apunta al vórtice formado por las paletas en la colada con intervalos de 2 segundos hasta completar la carga.
24. Dejar mezclar por 8 minutos para que exista una buena homogenización de la colada.
25. Apagar el motor del taladro.
26. Subir y asegurar la campana.



Figura 6.27 Colada de Aleación de Aluminio 4032 Homogenizada con Carburo de Silicio SiC.

Fuente: Autor.

27. Retirar con precaución el crisol.
28. Colar en la caja de arena.



Figura 6.28 Colado en Arena.

Fuente: Autor.

29. Presionar Stop al horno de inducción.
30. Desconectar el breaker y el enchufe del horno.
31. Dejamos enfriar el horno con circulación de agua por 5 minutos.

4.3.3. Desmolde de probetas

Procedemos al desmolde de probetas teniendo mucho cuidado de no romperlas o deformarlas.



Figura 6.29 Desmolde de probetas del molde de Arena.

Fuente: Autor.

32. Recuperamos las probetas y procedemos a limpiarlas.



Figura 6.30 Probeta recuperada y limpiada.

Fuente: Autor.

6.7.2 Ensayo De Tracción.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 		
Procedimiento para realizar el ensayo de tracción de probetas de Aluminio 4032 reforzadas con el 5% de Carburo de Silicio (SiC).		
Código: PT – 01	Fecha de Elab. 27/06/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Luis Santana	Revisado por: Luis Santana	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
<p>1.- OBJETIVO.</p> <p>Determinar las Propiedades Mecánicas de Tracción de la Fundición de Aluminio 4032 reforzada con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio (SiC).</p> <p>2.- ALCANCE.</p> <p>El procedimiento sirva para realizar el ensayo de Tracción de probetas de Aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de silicio (SiC).</p> <p>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.</p> <p>La normativa utilizada comprende AST E 8:00b y ASTM E111:97 Que se refiere a métodos de ensayo de Tracción y Determinación del módulo de Young respectivamente.</p> <p>4.- GENERALIZACIÓN</p> <p>El ensayo de Tracción sirve para determinar las propiedades mecánicas de Tracción de los materiales , entre los cuales se incluye Resistencia a la Tracción (Sut), Resistencia a la Cedencia (Sy), porcentaje de elongación (%e), Porcentaje de reducción de área y Módulo de Young (E).</p> <p>5.- REALIZACIÓN.</p> <p>Para realizar el ensayo de tracción de la probeta reforzada con el 5% de Carburo de Silicio (SiC)</p> <p>Se realiza los siguientes pasos:</p>		

- Preparación de la probeta
- Ensayo mecánico de tracción
- Evaluación del resultado.

5.1. PREPARACIÓN DE LA PROBETA.



Figura 6.31 Probetas recuperadas sin los bebederos.

Fuente: Autor.

5.1.1. Mecanizado de las probetas.

Se realiza el mecanizado de las probetas de acuerdo a las especificaciones ASTM E8:00b.

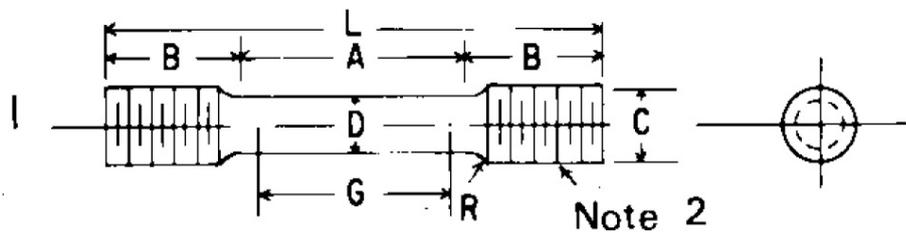


Figura 6.32 Medidas de probeta para en ensayo.

Fuente: Norma ASTM E8:00b. (2000). Autores varios. Figura 9. Espécimen 1.

Donde:

A= Longitud de la sección reducida. = 2.000 ± 0.005 in

B= Longitud del tramo final. = $1 \frac{3}{8}$ in

C= Diámetro de la sección Final = $\frac{3}{4}$ in

D= Diámetro (Nota 1) = 0.500 ± 0.010 in

G= Longitud de la Galga = 2 ¼ in, min

L= Longitud Total. Aproximada = 5 in

R= Radio del Filete mínimo. = 3/8 in

NOTA 1-La sección reducida puede tener una conicidad gradual desde los extremos hacia el centro con el no termina más de 0,005 pulgadas de diámetro mayor que el centro.

NOTA 2 En muestras 1 y 2, toda rosca estándar es permisible que establece la alineación y ayuda adecuada para asegurar que la muestra se rompa dentro de la sección reducida.

Para el caso se utilizó una rosca ¾”.

El torneado de las probetas Para el ensayo de tracción se lo realizó en el taller del Sr. William Naula.



Figura 6.33 Probetas para el ensayo a tracción bajo la norma ASTM E8:00b

Fuente: Autor.

5.1.2. Ensayo mecánico de tracción.

1. Colocar la probeta de aluminio 4032 reforzada con partículas e carburo de silicio en los acoples de la máquina universal.
2. Dar una precarga para que los acoples se aseguren a la máquina universal



Figura 6.34 Probeta montada en la máquina Universal.

Fuente: Autor.

3. Calibrar 2 pulgadas en la Galga de la probeta y montar el deformímetro.



Figura 6.35 Montaje del deformímetro.

Fuente: Autor.

4. Asegurar con una cuerda el deformímetro para que no se caiga cuando se rompa la probeta.



Figura 6.36 Asegurado con pasador del deformímetro.

Fuente: Autor.

5. Calibrar el deformímetro a cero.
6. Aplicar la carga a la probeta y tomar las mediciones en el deformímetro para la

posterior tabulación de los resultados.



Figura 6.37 Máquina Universal lista para en ensayo.

Fuente: Autor.

7. Retirar la probeta deformada de los acoples de la máquina universal.

5.4 EVALUACIÓN DE RESULTADO.

Una vez terminado el ensayo se desmontarla y calibrarla para cálculos posteriores.

Tabla 6.5 Resultados de los ensayos de tracción de las probetas ET 6 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 5% de adición de Carburo de Silicio.

ENSAYO DE TRACCIÓN PROBETAS ET 6.0 CON 5% SiC (Escorificado y desgasificado)					
PROBETA	Sut lb/in² (Psi)	Sy lb/in² (Psi)	%E	%RA	Modulo de Young lb/in² (Psi)
PROBETA ET 6.1	19641.50	18200.00	1.70	8.00	4395000.40
PROBETA ET 6.2	19081.00	18000.00	1.65	7.88	4402919.52
PROBETA ET 6.3	19159.71	17900.00	1.55	6.50	4398683.39
PROBETA ET 6.4	19350.19	17300.00	1.75	9.32	4358504.10
PROBETA ET 6.5	19395.00	17700.00	1.60	7.44	4481800.92
PROMEDIO	19325.48	17820.00	1.65	7.83	4407381.67

Fuente: Autor

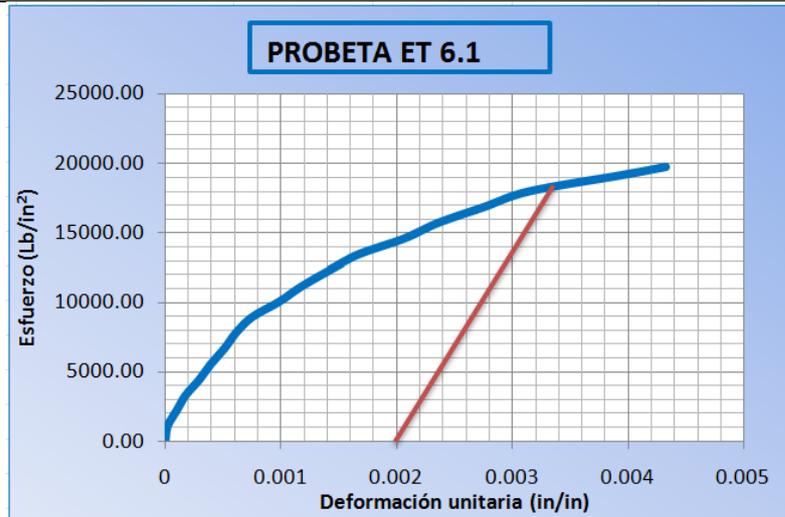


Figura 6.38 Curva Esfuerzo Deformación

Fuente: Autor

6.7.3 Ensayo Metalográfico.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 		
Procedimiento para realizar el ensayo Metalográfico de probetas de Aluminio 4032 reforzadas con el 5% de Carburo de Silicio (SiC).		
Código: PM – 01	Fecha de Elab. 27/06/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Luis Santana	Revisado por: Luis Santana	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
<p>1.- OBJETIVO.</p> <p>Determinar las Propiedades Metalográficas de la Fundición de Aluminio 4032 reforzada con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio (SiC).</p> <p>2.- ALCANCE.</p> <p>El procedimiento sirva para realizar el ensayo de Metalográfico de probetas de Aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de silicio (SiC).</p> <p>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>La normativa utilizada para la realización de ensayos metalográficos son las normas ASTM E3:95 y ASTM 112:96 que sirven para realizar ensayos metalográficos y determinar el tamaño de grano respectivamente.</p> <p>4. GENERALIZACIÓN</p> <p>El ensayo metalográfico sirve para determinar los porcentajes microestructurales , el tamaño de grano ASTM.</p> <p>5. REALIZACIÓN.</p> <p>Para realizar el ensayo metalográfico de la probeta reforzada con el 5% de partículas de carburo de silicio se seguirán los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Preparación de la probeta.• Preparación metalográfica de la superficie.• Ataque químico de la superficie.		

- Evaluación del resultado.

5.1. PREPARACIÓN DE LA PROBETA.

1. Se procede a extraer la muestra de 1 pulgada de diámetro por 1 pulgada de longitud utilizando el Discotom.



Figura 6.39 Corte de la probeta en Discotom para Análisis Metalográfico.

Fuente: Autor.

5.2. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE.

2. Desbastado de la probeta. Desbastar sobre la lija procurando tener suficiente flujo de agua para que el material no se caliente. Se recomienda no presionar mucho la probeta sobre la lija y hacerlo en un sentido con la finalidad de que la base de la probeta quede totalmente plana sin olas. Primero se desbasta con la lija # 240 hasta que solo queden las líneas dejadas por la lija en un solo sentido, luego giramos 90° y devastamos con la lija # 320, y bajo el mismo proceso pasamos a la lija #400 y #600.



Figura 6.40 Desbastado de la probeta en el Banco de Lijas.

Fuente: Autor.

3. Pulido de la probeta. Para el pulido de la probeta utilizamos una pulidora de disco con paño fino, al paño se lo humedece con ayuda de un chisguete y se agrega una gota de Alúmina de 1 μm . Poner a máxima velocidad la pulidora,

colocar la probeta sobre el paño y ejercer un poco de presión sobre la misma. Se debe mantener la probeta sobre el paño hasta que la superficie quede como un espejo. Es importante humedecer el paño cada cierto tiempo con la finalidad de que la superficie no se caliente y pueda generar cambios en la microestructura.



Figura 6.41 Pulido de la probeta en Pulidora de Disco.

Fuente: Autor.

5.3. ATAQUE QUÍMICO DE LA SUPERFICIE.

4. Lavar la superficie de la probeta previamente pulida con un poco de acción y secar con flujo de aire de un ventilador hasta que quede completamente seca.



Figura 6.42 Secado de la superficie con ventilador.

Fuente: Autor.

5. Realizar el ataque químico con reactivo para aluminio y aleaciones de aluminio de keller (5 ml de HNO_3 y 190 ml de agua destilada) durante 30 segundos.



Figura 6.43 Ataque químico. Reactivo de keller (5 ml de HNO_3 y 190 ml de agua destilada)

Fuente: Autor.

6. Lavar inmediatamente la superficie con presión de agua con la finalidad de retirar el reactivo.
7. Secar la probeta con aire frío del ventilador.

5.4. EVALUACIÓN DEL RESULTADO.

8. Observar la microestructura de la probeta al microscopio. Colocamos la probeta en el portaobjetos del microscopio y regulamos hasta tener una imagen clara y bien definida.
9. Con ayuda del sistema de circuito cerrado de televisión se observa la imagen de la microestructura del compuesto, con el software que interrelaciona la imagen que se observa al microscopio con la computadora fijamos la imagen y gravamos la imagen bajo la extensión jpg. Para posteriores cálculos.



Figura 6.44 Observación de la microestructura del compuesto.

Fuente: Autor.

6.7.4 Ensayo De Dureza.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 		
Procedimiento para realizar el ensayo de Dureza de probetas de Aluminio 4032 reforzadas con el 5% de Carburo de Silicio (SiC).		
Código: PD – 01	Fecha de Elab. 27/06/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Luis Santana	Revisado por: Luis Santana	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
<p>1.- OBJETIVO.</p> <p>Determinar las Propiedades Mecánicas de Dureza de la Fundición de Aluminio 4032 reforzada con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio (SiC).</p> <p>2.- ALCANCE.</p> <p>El procedimiento sirva para realizar el ensayo de Tracción de probetas de Aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de silicio (SiC).</p> <p>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>La normativa utilizada para la realización de ensayos de Dureza la norma E 10:01 que contiene el método estándar para ensayar y determinar la Dureza Brinell en materiales metálicos.</p> <p>4. GENERALIZACIÓN</p> <p>El ensayo Dureza sirve para determinar la resistencia que presentan las probetas de compuesto de aluminio reforzado con partículas de carburo de silicio a ser penetradas.</p> <p>5. REALIZACIÓN.</p> <p>Para realizar el ensayo de Dureza de la probeta reforzada con el 5% de partículas de carburo de silicio se seguirán los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Preparar la probeta dejando las dos superficies totalmente planas en el banco de lijas de igual manera como si se fuera a realizar el ensayo metalográfico.		

2. Colocar el indentador de bolas de carburo de wolframio de 5 mm de diámetro en el porta penetrador del durómetro.



Figura 6.45 Preparación del Durómetro.

Fuente: Autor.

3. Calibrar el durómetro tomando como referencia de comparación las galgas de calibración.
4. Seleccionar la carga de 613 N equivalentes a 612,9 N girando el selector de cargas en sentido horario.



Figura 6.46 Selección de la carga del durómetro.

Fuente: Autor.

5. Colocar la probeta en el centro de calibración del durómetro (Mesa de trabajo).
6. Calibrar la carga a cero girando el volante de elevación en sentido horario.



Figura 6.47 Encerado del indentador contra la probeta.

Fuente: Autor.

7. Dar una precarga al durómetro.
8. Aplicar los 613 N equivalentes a 612,9 N.

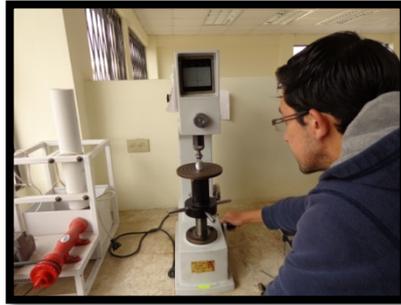


Figura 6.48 Aplicación de la carga al durómetro.

Fuente: Autor.

9. Observar y medir el diámetro de la huella dejado el indentador con el microscopio de mano.



Figura 6.49 Medición de la huella en la probeta.

Fuente: Autor.

10. Calcular la dureza Brinell utilizando la fórmula.

5.4. EVALUACIÓN DEL RESULTADO.

Fórmula de Cálculo:

Diámetro penetrador = $D = 2.5$ mm

d = (Huella mm)

Carga aplicada = $P = (612.9N)=62.5Kg$

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2(62.5)}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$$

$$= \frac{125}{\pi 2.5(2.5 - \sqrt{2.5^2 - d^2})}$$

Tabla 6.6 Resultados de los ensayos de dureza de las probetas ET 6 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escorificado y desgasificado con 5% de adición de Carburo de Silicio.

No de huella	Diámetro huella(d)	Dureza Brinell HB
D6.1	0.9	94.95
D6.2	0.87	101.85
D6.3	0.86	104.31
D6.4	0.89	97.17
D6.5	0.9	94.95
D6.6	0.88	99.47
D6.7	0.9	94.95
D6.8	0.87	101.85
D6.9	0.88	99.47
D6.10	0.89	97.17
Dureza Brinell promedio:		98.62 HB

Fuente: Autor

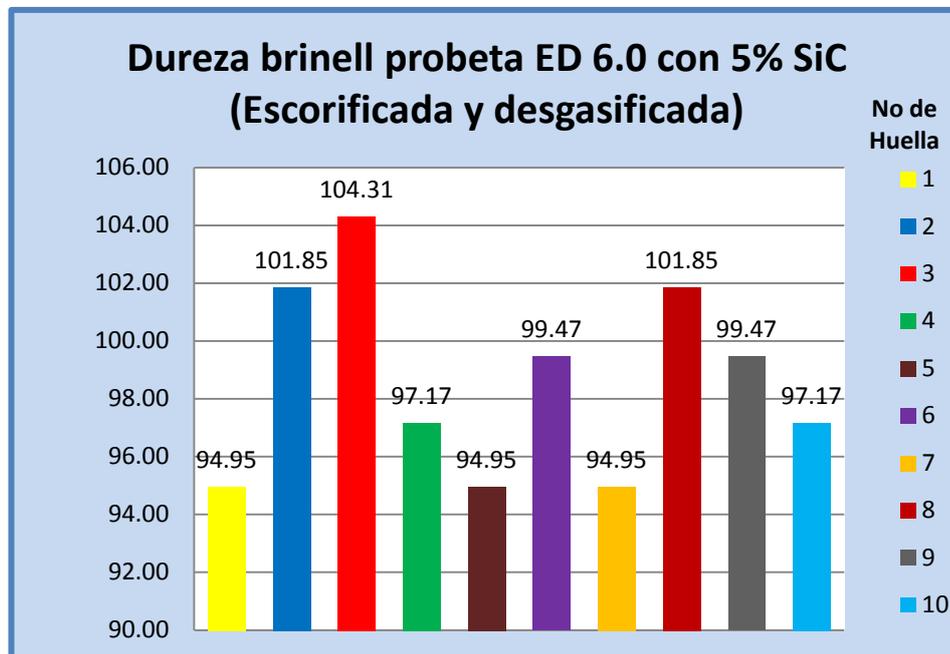


Figura 6.50 Gráfica comparativa de durezas medidas en el compuesto 5% de refuerzo de SiC.

Fuente: Autor

6.7.5 Ensayo De Impacto.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 		
Procedimiento para realizar el ensayo de Impacto de probetas de Aluminio 4032 reforzadas con el 5% de Carburo de Silicio (SiC).		
Código: PI – 01	Fecha de Elab. 27/06/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Luis Santana	Revisado por: Luis Santana	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
<p>1.- OBJETIVO.</p> <p>Determinar las Propiedades Mecánicas de Resistencia al Impacto de la Fundición de Aluminio 4032 reforzada con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio (SiC).</p> <p>2.- ALCANCE.</p> <p>El procedimiento sirva para realizar el ensayo de Impacto de probetas de Aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de silicio (SiC).</p> <p>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>La normativa utilizada para la realización de ensayos de Impacto es la norma ASTM E23:02 que sirven para realizar ensayos de impacto para determinar la cantidad de energía que puede absorber el material en el proceso de fracturar la probeta.</p> <p>4. GENERALIZACIÓN</p> <p>El ensayo de impacto sirve para evaluar el comportamiento del material a velocidades de deformación más altas. El método seleccionado es el procedimiento Charpy y se lo utiliza para determinar la tenacidad del compuesto.</p> <p>5. REALIZACIÓN.</p> <p>Para realizar el ensayo de Impacto de la probeta reforzada con el 5% de partículas de carburo de silicio se seguirán los siguientes pasos:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Sin colocar la probeta en los apoyos se eleva el péndulo hasta que se engatille		

al seguro superior para ser liberado luego.

2. Calibrar el péndulo a cero.
3. Colocar la probeta en los apoyos del péndulo Charpy con la ranura apuntando al sentido contrario del impacto .



Figura 6.51 Probeta colocada en los apoyos del péndulo Charpy.

Fuente: Autor.

4. Soltar el péndulo, Una vez producida una rotura en el mismo esperar unos cuantos segundos hasta que se detenga.



Figura 6.52 Probeta colocada en los apoyos del péndulo Charpy.

Fuente: Autor.

5. Pararse frente al péndulo y centrar en el centro que guía la aguja de medición del Péndulo.
6. Observar 3 medidas por cada ensayo y obtener un promedio.

5.4. EVALUACIÓN DEL RESULTADO.

Tabla 6.7 Resultados de los ensayos de Impacto de las probetas ET 6 de aluminio 4032 fundido y colado en arena verde escoriado y desgasificado con 5% de adición de Carburo de Silicio.

ENSAYO DE IMPACTO	
N. Muestra	Tenacidad (Joules)
1	4.5
2	5
3	4.5
4	4.7
5	5
Sumatoria	23.7
Tenacidad promedio	4.74

Fuente: Autor

6.7.6 Ensayo De Desgaste Adhesivo En Seco.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 		
Procedimiento para realizar el ensayo de Impacto de probetas de Aluminio 4032 reforzadas con el 5% de Carburo de Silicio (SiC).		
Código: PDA – 01	Fecha de Elab. 20/01/2014	Revisión: 00
Elaborado por: Luis Santana	Revisado por: Luis Santana	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
<p>1.- OBJETIVO.</p> <p>Realizar el análisis de desgaste adhesivo del de la Fundición de Aluminio 4032 reforzada con el 5% de Partículas de Carburo de Silicio (SiC) para determinar el comportamiento tribológico del par.</p> <p>2.- ALCANCE.</p> <p>El procedimiento sirva para realizar el ensayo Desgaste Adhesivo con el tribómetro de cilindros cruzados bajo la norma ASTM G-83 de probetas de Aluminio 4032 reforzado con el 5% de partículas de carburo de silicio (SiC).</p> <p>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</p> <p>La normativa utilizada para la realización de ensayos de desgaste Adhesivo es la norma ASTM G-83 que sirven para realizar ensayos de Desgaste en seco de cilindros cruzados.</p> <p>4. GENERALIZACIÓN</p> <p>El ensayo de impacto sirve para evaluar el comportamiento del material a velocidades de deformación más altas. El método seleccionado es el procedimiento Charpy y se lo utiliza para determinar la tenacidad del compuesto.</p> <p>Este método sirve para determinar la resistencia de materiales metal-metal producido en los cilindros por el aparato tribológico de cilindros cruzados. Se puede evaluar la compatibilidad de materiales diferentes. Este método se utiliza normalmente para</p>		

evaluar la resistencia al desgaste de un material cuando se desgasta contra sí misma.

5. REALIZACIÓN.

1. Preparación de las probetas
2. Obtención las masas iniciales de las probetas (cilindros)
3. Calibración de parámetros en el equipo
4. Montaje de las probetas
5. Puesta en marcha del equipo
6. Obtención de las masas finales
7. Evaluación del resultado

5.1. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

1. Maquinar las probetas según la norma ASTM G83-96 que establece cilindros de un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada por 4 pulgadas de largo.

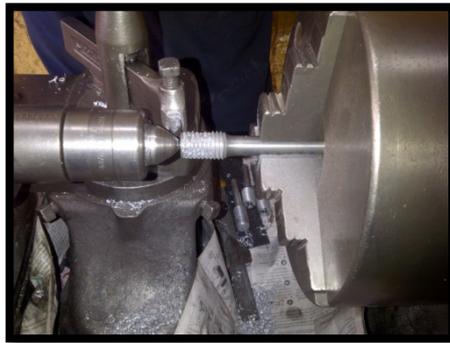


Figura 6.53 Maquinado de probetas en el torno.

Fuente: Autor.

2. Pulir las probetas para alisar las superficies de los cilindros en el torno, lijando las superficies con lijas 240, 360 y 400 hasta tener una superficie nítida.

5.2. OBTENCIÓN LAS MASAS INICIALES DE LAS PROBETAS (CILINDROS)

3. Limpiar las superficies de las probetas con alcohol con la finalidad de remover cualquier residuo que pudiera afectar la medición.
4. Para la medición la norma dice que debemos utilizar una balanza de 0,1 miligramos de precisión, para lo cual se utilizo la balanza analítica F.I.C.A.L.

perteneciente a la Facultad de ingeniería en alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.



Figura 6.54 Balanza F.I.C.A.L de 0.1 mg de precisión.

Fuente: Autor.

5. Verificar que todas las ventanas de aislamiento del aire de la balanza estén cerradas
6. Encender la balanza
7. Encerar la balanza
8. Abrir la ventana de la balanza y colocar la probeta sobre el plato
9. Cerrar la ventana de la balanza y esperar a que la medida se estabilice
10. Tomar la medida correspondiente

5.3. CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS EN EL EQUIPO



Figura 6.55 Tribómetro de Desgaste Adhesivo en seco.

Fuente: Autor.

El Tribómetro de cilindros cruzados utilizado en el ensayo de Desgaste Adhesivo dispone de un panel de control en el mismo que debemos ingresar los Hz que requiere

el variador, para lo cual realizamos una regla de 3:

$$\begin{array}{r} 60\text{hz} \quad 1730 \text{ revoluciones} \\ \times \quad 400 \text{ revoluciones} \end{array}$$

11. Ingresamos al variador los 13.87 Hz calculados.
12. Ingresamos al contador de revoluciones del panel las 40000 revoluciones solicitadas por la norma para realizar el procedimiento B.

5.4. MONTAJE DE LAS PROBETAS

13. Elevar el vástago del porta probetas de la probeta fija.
14. Insertar la probeta móvil en el porta probetas y ajustar los seguros (Prisioneros para que no se mueva.



Figura 6.56 Sujeción de la probeta fija.

Fuente: Cortesía de Neris Zambonino H.

15. Retroceder el porta mandril trasero
16. Abrir los mandrile de la probeta móvil
17. Insertar la probeta móvil en los porta mandriles
18. Hacer avanzar el porta mandril trasero al largo de la probeta
19. Cerrar los mandriles y asegurar las probetas
20. Asegurar el seguro con el cual cuentan los mandriles para evitar que se aflojen.



Figura 6.57 Sujeción de la probeta móvil.
Fuente: Cortesía de Neris Zambonino H.

21. Bajar el vástago del porta probetas fijo
22. Verificar que el contacto entre cilindros sea a 90 grados.

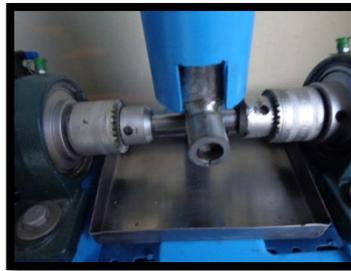


Figura 6.58 Probetas en contacto a 90 grados.
Fuente: Autor

5.5. PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO

23. Encerar el cronómetro
24. Encerar el contador de revoluciones
25. Dar inicio al motor del tribómetro y al cronómetro simultáneamente
26. Aguardar el tiempo necesario para que el contador marque las revoluciones requeridas
27. Una vez detenido el tribómetro por el contador detener inmediatamente el cronómetro y tomar el tiempo



Figura 6.59 Cronómetro y contador de revoluciones.
Fuente: Autor

5.6. Obtención de las masas finales

28. Limpiar las probetas ensayadas con alcohol con la finalidad de remover suciedad y evitar errores al momento del pesado

29. Realizar los pasos del 4 al 10 nuevamente para tomar la lectura de masa final.

5.7. EVALUACIÓN DEL RESULTADO.

El valor **K** experimental del Aluminio reforzado con el 5% SiC es **1.45E-04**.

En la Tabla 6.8 según (Archard, J.F. y Hirst, W. 1956), provee una indicación de los valores observados del coeficiente de desgaste K para un número de pares tribológicos con deslizamiento en seco, los cuales el coeficiente k para desgaste en seco del aluminio A332 + 5% SiC es comparable al que posee el acero endurecido para herramientas como se puede observar a continuación:

Tabla 6.8 Valores observados del coeficiente de desgaste k para número de pares tribológicos con deslizamiento en seco.

Material	K
Acero (Sobre acero)	7.0E-03
Latón	6.0E-04
PTFE	2.5E-05
Aleación Cobre- Berilio	3.7E-05
Acero endurecido para herramienta	1.3E-04
Acero perlítico inoxidable	1.7E-05
Polietileno	1.3E-07

Fuente: Cubillán T. Alfredo A. 2002, pp.34

6.8 ADMINISTRACIÓN.

El análisis económico de la propuesta se presenta en la tabla 6.8. Donde se desglosan los materiales y recurso utilizados:

Tabla 6.9 Costos de la investigación.

RUBROS DE COSTOS				
DETALLE	CANT.	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
RECURSOS MATERIALES				
Pistones de aluminio 4032 reciclados	8	Libras	1,00 usd	8,00 usd
Prelavado de pistones.	8	Libras	0,50 usd	4,00 usd

Tabla 6.8 Costos de la investigación (Continuación...)

Rotura de pistones en prensa	8	Libras	0,40 usd	3,20 usd
Carburo de silicio # 400	0,40	Libras	4,00 usd	1,60 usd
Alúmina	0,25	Libras	180,00 usd	45,00 usd
Pliego de lija #240	2	Unidades	0,80 usd	1,60 usd
Pliego de lija #320	2	Unidades	0,80 usd	1,60 usd
Pliego de lija #400	2	Unidades	0,80 usd	1,60 usd
Pliego de lija #600	2	Unidades	0,80 usd	1,60 usd
Paño para pulido de probetas	0.50	Metros	9,00 usd	4,50 usd
Caja de moldeo de madera	1	Unidad	15,00 usd	15,00 usd
TOTAL RECURSOS MATERIALES:				87,70 usd
RECURSOS HUMANOS				
Remuneración Autor (Alimentación)	1	Unidad	300,00 usd	300,00 usd
Tornero (maquinado de probetas de tracción)	5	Probetas	10,00 usd	50,00 usd
Fresador (maquinado de probetas de impacto)	5	Probetas	5,00 usd	25,00 usd
TOTAL RECURSOS HUMANOS:				375,00 usd
RECURSOS VARIOS				
Material de oficina	1	Unidad	50,00	50,00 usd
Internet	1	Unidad	30,00	30,00 usd
Transporte	1	Unidad	90,00	90,00 usd
Impresión y empastados	1	Unidad	140,00	140,00 usd
TOTAL RECURSOS VARIOS:				310,00 usd
TOTAL USD:				772.7

Fuente: Autor

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.

Una vez concluido el presente trabajo investigativo se ha podido determinar que el proceso de incrustación de Partículas de Carburo de Silicio Grit 400 en la matriz de Aluminio 4032 mediante el método Stir Casting es eficiente.

Se logro variar las propiedades mecánicas del material estudiado, en especial se ha podido constatar el incremento significativo de la dureza en el compuesto a medida que su porcentaje de refuerzo aumenta.

Se puede pulir y mejor el método de obtención del compuesto, mediante la presente investigación se espera haber sembrado una pequeña semilla en el espíritu investigador e innovador de la comunidad universitaria. Aún queda mucho inconcluso aún si no se varía el método utilizado, varias propiedades Mecánicas, Físicas y Químicas no se las ha podido evaluar debido al limitante económico y de tiempo.

Esta investigación puede ser utilizada como base o punto de partida para futuras investigaciones, en las cuales se recomienda trabajar en el flujo de un gas noble que proteja y transporte el carburo de silicio a la aleación fundida, en recubrimientos al SiC que permita elevar su mojabilidad con el aluminio fundido, y en la evaluación del comportamiento a desgaste de la aleación base frente al compuesto formado.

El presente trabajo se lo realizo casi en su totalidad en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, ya que se cuenta con los equipos suficientes para desarrollar el estudio de la mejor manera, además se tuvo una gran apertura por parte de las Autoridades de la Facultad para hacer uso de las instalaciones.

Tanto los maquinados de las probetas, preparación del material reciclado y análisis químico se los realizo fuera de los Predios Universitarios.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Sánchez, M., Campos, I. (2010). *Tecnología de Materiales*. (Primera edición ed). México: Editorial Trillas.
- [2] Fajardo, J., Amaya, M., & Otros. (2011). Diagnóstico del desarrollo tecnológico de la ciencia de materiales en las PYMES de la ciudad de Cuenca. *Ingenius* (6), 37-50.
- [3] Valdez, S. (2011). Una amalgama idónea. *Material Compuesto. Hypatia* (37), 12-14.
- [4] Bassani, P., Previtali, B., Tuissi, A., & Otros. (2010). Solidification Behavior and Microstructure of A360-SiCp Cast Composites. *Metalurgical Science and Tecnology*, 3-10.
- [5] Schaffer, J. (2000). *Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería*. (Primera edición ed.). México: Compañía editorial continental.
- [6] Askeland, D. (2009). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. (Cuarta edición ed.). México: Cengage Learning Editores.
- [7] Órtola, S. (Abril 2009). Manual del Aluminio y sus Aleaciones. Recuperado el Enero 2013 de: <http://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>
- [8] Barrand, P. (1969). *Enciclopedia del Aluminio*. (Vol. III) Urmo, Bilbao.
- [9] Varios. (2004). *Microestructure of Aluminum Allows*. Metals Handbook. (Vol. VII).
- [10] Dhindaw, B., Thakur, S., & Dhindaw, B. (2001). *The Influence of Interfacial Characteristics Between SiCp and Mg/Al Metal Matrix on Wear, Coefficient of Friction and Microhardness*. (Wear, vol. 247) , 191-201.
- [11] Rohatgi P., Asthana A., Das S., (1986). *Solidification, structures, and properties of cast metal-ceramic particle composites*. Int. Met. Rev. , 31-32
- [12] Chawla, K. (1998). *Composite materials: Science and Engineerin.*,(Segunda edición ed.). U.S.A.: Springer Science + Business Media Inc.

- [13] Smith, W. (1999). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. (Tercera edición ed.). España: McGraw-Hill, Inc.
- [14] Anderson, J., Leaver, & Otros. (2002). *Ciencia de los materiales*. (Segunda edición ed.). México: Editorial Limusa.
- [15] Davis, H. & Otros. (1982). *Ensaye e inspección de los materiales de ingeniería*. (Tercera edición ed.). México: Editorial continental.

REFERENCIAS

- Hayden, H., Moffat, W., & Wuff, J. (1965). *The Structure and Properties of Materials*. (Vol. III.) Willey, 12.
- Horward, C. (1992). *Manual de soldadura*. (Edición en Español, Vol. II) México.
- Shackelford, J. (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. (Sexta edición ed.). España: Person education S.A.
- Varios. (1992). *ASM Handbook for Alloy Phase Diagrams*. (Volumen III).
- Zipperian, D. (2002) Silicon Carbide Abrasive Grinding. Quality Matters Newsletter. Volume I, Issue 2., 1-3.
- <http://www.ups.edu.ec/documents/2497096/2497486/Art5.pdf>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje_de_aluminio
- <http://www.teksidaluminum.com/pdf/23-2-1.pdf>
- <http://www.tradeines.com/product-other-chemicals/silicon-carbide-sic-particle-79111.html>
- <http://www.directindustry.es/prod/teijin-aramid/fibras-de-aramida-para-el-refuerzo-de-cordaje-y-cable-18087-99050.html>
- <http://www.ehu.es/zorrilla/juanma/automovil/carbono.htm>
- <http://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>
- <http://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>

ANEXOS.

Anexo A1. Análisis Químico de los pistones de aluminio Reciclados.



Fecha de impresion: 1/25/2013
Hora de impresion: 11:26:07 AM

DEPARTAMENTO DE FUNDICION

Ensayo de Analisis Quimico

FECHA : 1/25/2013
HORA : 11:25:43 AM
EMPRESA : Santana Mera
ATENCION : Egdo. Santana
MUESTRA : Piston de aluminio
PEDIDO : 6188
PROGRAMA: AI-20-F

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Be	Bi
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Value	12.43	0.520	1.23	0.00920	1.01	0.00460	1.11	0.0230	0.0210	<0.0001	0.00300
	Ca	Cd	Co	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Value	0.00060	0.00130	<0.0010	<0.0001	0.00880	0.00280	<0.0010	<0.0001	0.0210	0.0250	83.6
	Bg										
	%										
Value	83.6										


Responsable del Analisis
Carlos Montiel C.

Nota: Este análisis no podra ser usado contra terceros

Matriz:
Km. 7,8 Vía a Daule Av. 12da. y Calle 3ra.
Telf.: (593 4) 2252829 - 2251764 - 2250605 - 2250376
Movil: (593 9) 93779258 • Casilla 2057 • email: falesa@falesa.com
Guayaquil - Ecuador

Sucursal:
Km. 1,5 Vía Durán Tambo (lado derecho)
Telf.: (593 4) 2155810 - 2155800
Movil: (593 9) 94423107
Durán - Ecuador

www.falesa.com

ANEXO A2. Información de la materia prima adquirida para la investigación.

MATERIA PRIMA

ALEACIÓN DE ALUMINIO 4032

La aleación de aluminio 4032 se la obtuvo de pistones usados de vehículos de marca Chevrolet Luv 2.2 (1990-1996) a carburador de origen brasileño. Los mismo que fueron adquiridos de Rectificadora M&K ubicada en la ciudad de Ambato en la Av. Víctor Hugo y Amado Nervo a un costo de 0.50 ctvs. de dólar cada unidad incluido un prelavado de los mismos.



Figura 1. Pistón de Chevrolet Luv 2.2i.

Fuente: Autor.

El motivo de seleccionar ese tipo de pistones es debido a que no tienen alma de acero la misma que puede contaminar la colada y a su composición con un elevado porcentaje de silicio, el mismo que se espera sature al aluminio de silicio e impida la formación de carburo de Aluminio ya que este es sumamente quebradizo y perjudicaría la aleación.

La verificación de la composición de la aleación de los pistones se la realizo en FALESA (Ferro Aleaciones S.A.) soluciones para el agro en su Matriz ubicada en Guayaquil. El análisis químico se encuentra presente en los anexos.



Figura 2. Cabeza de Pistón de Chevrolet Luv 2.2i. Analizada químicamente por FALESA.

Fuente: Autor.

Fue necesario el quebrar los pistones debido a la pequeña cavidad de la boca de los crisoles. Para quebrar los pistones se utilizó una prensa proporcionada por el taller El Escape ubicado en a un costo de 0.50 ctvs. De dólar. El quebrar los pistones facilito la limpieza final por medio de cepillado con grata y el pesaje de los mismos.

CARBURO DE SILICIO # 400 (37 μm)

El carburo de silicio #400 el mismo que es equivalente 37 micras (μm) fue adquirido a un costo de 20 USD. En la Ferretería V. M. Absalón Guevara ubicada en la ciudad de Guayaquil en la Av. 9 de Octubre y Hurtado. La nominación utilizada por la Empresa para el producto es: Esmeril el polvo #400.



Figura 3. Carburo en polvo malla #400 (37 μm).

Fuente: Autor.

ESCORIFICADOR

El escorificador llamado Purigar de Suministros Garlopa Sumigar, CA. Purificador, escorificante y fundente de aluminio, fue donado ½ Kilo por El Centro Mecanizado Pérez (Fundidora LASER) Ubicado en la Av. Indoamerica Km 4 ½, el mismo que fue recomendado para limpiar la escoria de 15 kilos de colada de aluminio.



Figura 4. Des escoriador (PURIGAR).

Fuente: Autor.

DESGASIFICADOR

Para desgasificar el aluminio se emplea pastillas desgasificadoras NITRAL C19 las mismas que se sumergen en el aluminio generan una macro burbuja de gas químico que por arrastre mecánico desgasifican y limpian el aluminio. Donadas por Centro de Mecanizado Pérez. La pastilla tiene un color gris y un peso promedio de 46 gr recomendado para desgasificar 15 kilos.



Figura 5. Desgasificador (NITRAL C19)

Fuente: Autor.

ARENA VERDE

Arena verde perteneciente al aula de fundición de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, adquirida tiempo atrás al Centro de Mecanizado Pérez.



Figura 6. Arena Verde.

Fuente: Autor.

Crisol de grafito cilíndrico

Crisol de de grafito origen Chino parte del horno de inducción.



Figura 7. Crisol de grafito Chino.

Fuente: Autor.

CRISOL DE GRAFITO MARCA SALAMANDER GRAFINOX

Crisol de grafito A-6 marca Salamander Grafinox origen Brasileño. Adquirido a 60 usd. A Maquinarias Henriques C.A. Guayaquil, Vía a Daule Km 6 ½ Av. Principal junto al Club Nacional.

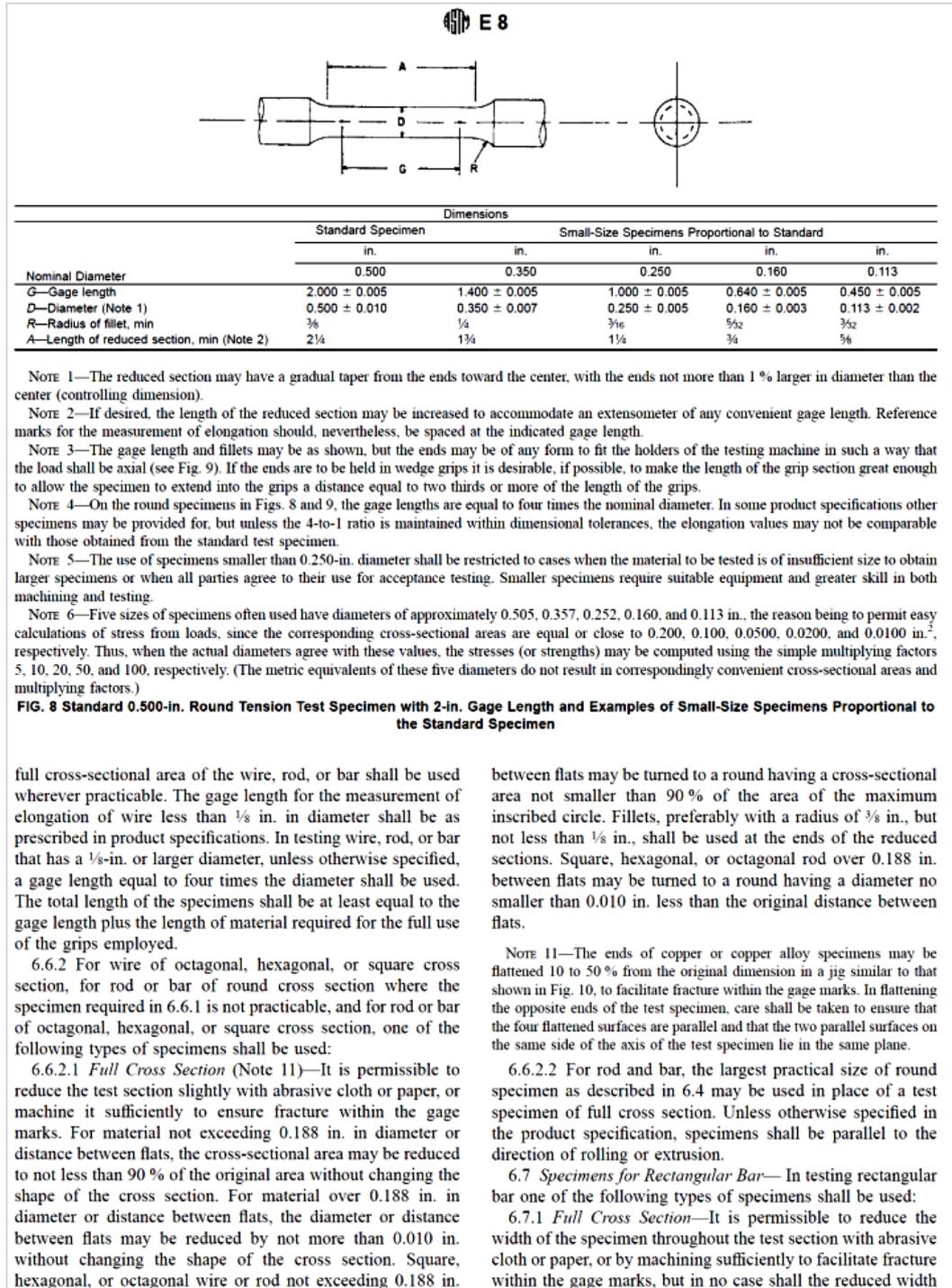


Figura 8. Crisol de grafito A6 Salamander Grafinox.

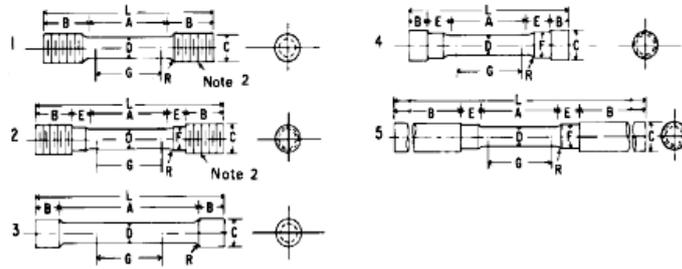
Fuente: Autor.

ANEXO B.1.

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E 8 – 00b Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.¹



E 8



	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.	in.	in.	in.	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	3/8	3/8	1/16	3/8	3/8
A—Length of reduced section	2 1/4, min	2 1/4, min	4, approximately	2 1/4, min	2 1/4, min
L—Over-all length, approximate	5	5 1/2	5 1/2	4 3/4	9 1/2
B—Length of end section (Note 3)	1 3/8, approximately	1, approximately	3/4, approximately	1/2, approximately	3, min
C—Diameter of end section	3/4	3/4	2 3/32	7/8	3/4
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	...	5/8	...	3/4	5/8
F—Diameter of shoulder	...	5/8	...	5/8	19/32

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.005 in. larger in diameter than the center.

NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.

NOTE 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

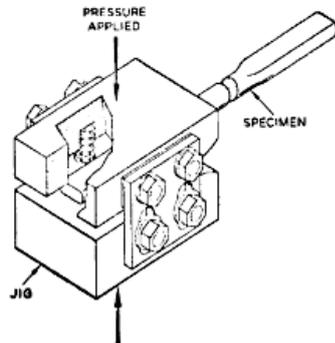


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens

be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced section not less than 3/4 in. in length shall be parallel to each other and to the longitudinal axis of the specimen within 0.002 in. Fillets, preferably with a radius of 3/8 in. but not less than 1/8 in. shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bar of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be machined or cut and smoothed to ensure failure within the desired section. The reduced width shall be not less than the original bar thickness. Also, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 may be used.

6.8 Shapes, Structural and Other—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 Specimens for Pipe and Tube (Note 12):

6.9.1 For all small tube (Note 12), particularly sizes 1 in. and under in nominal outside diameter, and frequently for larger sizes, except as limited by the testing equipment, it is standard practice to use tension test specimens of full-size tubular sections. Snug-fitting metal plugs shall be inserted far enough into the ends of such tubular specimens to permit the testing machine jaws to grip the specimens properly. The plugs shall not extend into that part of the specimen on which the elongation is measured. Elongation is measured over a length of 4D unless otherwise stated in the product specification. Fig. 11 shows a suitable form of plug, the location of the plugs in the specimen, and the location of the specimen in the grips of the testing machine.

NOTE 12—The term “tube” is used to indicate tubular products in general, and includes pipe, tube, and tubing.

6.9.2 For large-diameter tube that cannot be tested in full section, longitudinal tension test specimens shall be cut as indicated in Fig. 12. Specimens from welded tube shall be located approximately 90° from the weld. If the tube-wall thickness is under 3/4 in., either a specimen of the form and dimensions shown in Fig. 13 or one of the small-size specimens proportional to the standard 1/2-in. specimen, as mentioned in 6.4.2 and shown in Fig. 8, shall be used. Specimens of the type shown in Fig. 13 may be tested with grips having

ANEXO B.2.

ESTRACTO DE LA NORMA ASTM E 111 – 97 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus¹



Designation: E 111 – 97

An American National Standard

Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus¹

This standard is issued under the fixed designation E 111; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 This test method² covers the determination of Young's modulus, tangent modulus, and chord modulus of structural materials. This test method is limited to materials in which and to temperatures and stresses at which creep is negligible compared to the strain produced immediately upon loading and to elastic behavior.

1.2 Because of experimental problems associated with the establishment of the origin of the stress-strain curve described in 8.1, the use of either initial tangent modulus (that is, the slope of the stress-strain curve at the origin) or secant modulus is not recommended and their determination is outside the scope of this test method.

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

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:
 - E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³
 - E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing³
 - E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials³
 - E 9 Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature³
 - E 21 Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials³
 - E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers³
 - E 231 Method for Static Determination of Young's Mod-

ulus of Metals at Low and Elevated Temperatures⁴

2.2

General Considerations—While certain portions of the standards and practices listed are applicable and should be referred to, the precision required in this test method is usually higher than that required in general testing.

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *accuracy*—the degree of agreement between an accepted standard value of Young's modulus (the average of many observations made according to this method, preferably by many observers) and the value determined.

3.1.1.1 Increased accuracy is associated with decreased bias relative to the accepted standard value; two methods with equal bias relative to the accepted standard value have equal accuracy even if one method is more precise than the other. See also *bias* and *precision*.

3.1.1.2 The accepted standard value is the value of Young's modulus for the statistical universe being sampled using this method. When an accepted standard value is not available, accuracy cannot be established.

3.1.2 *bias, statistical*—a constant or systematic error in test results.

3.1.2.1 Bias can exist between the accepted standard value and a test result obtained from this test method, or between two test results obtained from this test method, for example, between operators or between laboratories.

3.1.3 *precision*—the degree of mutual agreement among individual measurements made under prescribed like conditions.

3.1.4 *Young's modulus*—the ratio of tensile or compressive stress to corresponding strain below the proportional limit of the material (see Fig. 1a).

3.1.4.1 *tangent modulus*—the slope of the stress-strain curve at a specified value of stress or strain (see Fig. 1b).

3.1.4.2 *chord modulus*—the slope of the chord drawn between any two specified points on the stress-strain curve, below the elastic limit of the material (see Fig. 1c).

3.2 For definitions of other terms used in this test method, refer to Terminology E 6.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E 28.03 on Elastic Properties and Definitions on Mechanical Testing.

Current edition approved Apr. 10, 1997. Published November 1997. Originally published as E 111 – 55 T. Last previous edition E 111 – 82 (1996) ϵ ¹.

² This test method is a revision of E111 – 61(1978), "Young's Modulus at Room Temperature" and includes appropriate requirements of E231 – 69(1975), "Static Determination of Young's Modulus of Metals at Low and Elevated Temperatures" to permit the eventual withdrawal of the latter method. Method E 231 is under the jurisdiction of ASTM-ASME Joint Committee on Effect of Temperature on the Property of Metals.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁴ Discontinued, see 1981 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

limits of permissible variation in temperature are not to be construed as minimizing the importance of good practice and precise temperature control. All laboratories are obligated to keep the variation of indicated temperature from the actual temperature as small as is practical. Temperature changes during the test, within the allowable limits, can cause significant strain errors due to differences in thermal expansion of the test specimen and extensometer parts. Temperature changes should be minimized while making strain measurements.

8.7 In low-temperature testing in which the bath is cooled with dry ice or in which a refrigeration system is used, the temperature of the medium around the specimen should be maintained at temperatures within 1.5°C of the specified temperature. Measurement of bath temperatures or of circulating air from a refrigeration system may be done with a copper-constantan thermocouple or a suitable thermometer. If the specimen is submerged in a bath at the boiling point of the bath, sufficient soaking time (see Note 6) must be allowed to provide equilibrium conditions. Specimens tested in boiling liquids must meet the temperature control requirements specified in 8.6.

8.7.1 **Caution**—The boiling point of a commercial liquid gas may not be the same as the published temperature for the pure liquid gas.

8.8 *Temperature Measurement*—The method of temperature measurement must be sufficiently sensitive and reliable to ensure that the temperature of the specimen is within the limits specified in 8.6 and 8.7. Thermocouples in conjunction with potentiometers or millivolt meters are generally used to measure temperatures. A discussion of temperature measurement and the use of thermocouples is given in Test Methods E 21.

9. Interpretation of Data

9.1 If a plot of load-versus-extension is obtained by means of an autographic recorder, the value for Young's modulus may be obtained by determining the slope of the line for loads less than the load corresponding to the proportional limit. Choice of the lower load point depends on the limitations set forth in 8.1. Young's modulus is calculated from the load increment and corresponding extension increment, between two points on the line as far apart as possible, by use of the following equation:

$$E = \left(\frac{\Delta_p}{A_o}\right) \left(\frac{\Delta_c}{L_o}\right) \tag{1}$$

where:

- Δ_p = load increment,
- A_o = original cross-sectional area,
- Δ_c = extension increment, and
- L_o = original gage length.

The precision of the value obtained for Young's modulus will depend upon the precision of each of the values used in the calculation. It is suggested that the report include an estimate of the precision of the reported value of Young's modulus based on the summation of the precisions of the respective values. When the modulus determination is made at strains in excess of 0.25 %, corrections should be made for changes in cross-sectional area and gage length.

9.2 If the load-versus-extension data are obtained in numerical form, the errors that may be introduced by plotting the data and fitting graphically a straight line to the experimental points can be reduced by determining Young's modulus as the slope

of the straight line fitted to the appropriate data by the method of least squares. This method also permits statistical study of the data and therefore an evaluation of the variability of the modulus within the stress range employed. The equation for Young's modulus fitted by the method of least squares (all data pairs having equal weight) is:

$$\text{Young's modulus, } E = (\Sigma(XY) - K\bar{X}\bar{Y}) / (\Sigma X^2 - K\bar{X}^2) \tag{2}$$

where:

- Y = applied axial stress, and
- X = corresponding strain.

In terms of the measured load P_i and measured original cross-sectional area A_o and gage length L_o ,

$$X = \frac{\Delta_c}{L_o}$$

$$Y = \frac{\Delta_p}{A_o}$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma Y}{K} = \text{average of } Y \text{ values}$$

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{K} = \text{average of } X \text{ value}$$

K = number of X, Y data pairs and Σ = sum from 1 to K .

The coefficient of determination, r^2 , indicates the goodness of fit achieved in a single test. This coefficient is defined as follows:

$$r^2 = \left(\left[\Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{K} \right]^2 \right) / \left(\left[\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{K} \right] \left[\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{K} \right] \right) \tag{3}$$

Values of r^2 close to 1.00 are desirable (see Table 1).

NOTE 11—Many programmable calculators have built-in programs for calculating the slopes of straight lines fitted to a number of data pairs and their coefficient of determination. Details of the procedure may be found in standard textbooks on statistics or numerical analysis.^{6, 7, 8, 9}

⁶ Youden, W. J., *Statistical Methods for Chemists*, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1951, Ch. 5, pp. 40-49.

⁷ Fröberg, C. E., *Introduction to Numerical Analysis*, Second Edition, Addison Wesley Publishing Co., Reading, MA, 1969, p. 335.

⁸ *Experimental Statistics*, NBS Handbook No. 91. May be obtained from Superintendent of Natrella, M.G., Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.

⁹ Bowker, A. H., and Lieberman, G. J., *Engineering Statistics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1959, pp. 331-333.

TABLE 1 Fitting of Straight Lines Coefficient of Variation of Slope (Percent) (V_s)

Data Pairs (K)	Sample Correlation Coefficients (r)				
	0.90000	0.99000	0.99900	0.99990	0.99999
3	±48.4	±14.2	±4.47	±1.41	±0.447
5	27.9	8.22	2.58	0.816	0.258
10	17.1	5.03	1.58	0.500	0.158
20	11.4	3.35	1.05	0.333	0.105
30	9.1	2.69	0.84	0.267	0.084
50	6.9	2.05	0.64	0.204	0.064
100	4.8	1.44	0.45	0.142	0.045

Fuente: NORMA ASTM E 111 – 97 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus ¹

ANEXO B.3.

ESTRACTO DE LA NORMA ASTM E 112 – 96¹ Standard Test Method for Determining Average Grain Size ¹

E 112

sections, produced by a random plane (surface of observation) through such a structure, would have a distribution of areas varying from a maximum value to zero, depending upon where the plane cuts each individual crystal. Clearly, no two fields of observation can be exactly the same.

5.2 The size and location of grains in a microstructure are normally completely random. No nominally random process of positioning a test pattern can improve this randomness, but random processes can yield poor representation by concentrating measurements in part of a specimen. *Representative* implies that all parts of the specimen contribute to the result, not, as sometimes has been presumed, that fields of average grain size are selected. Visual selection of fields, or casting out of extreme measurements, may not falsify the average when done by unbiased experts, but will in all cases give a false impression of high precision. For representative sampling, the area of the specimen is mentally divided into several equal coherent sub-areas and stage positions prespecified, which are approximately at the center of each sub-area. The stage is successively set to each of these positions and the test pattern applied blindly, that is, with the light out, the shutter closed, or the eye turned away. No touch-up of the position so selected is allowable. Only measurements made on fields chosen in this way can be validated with respect to precision and bias.

6. Sampling

6.1 Specimens should be selected to represent average conditions within a heat lot, treatment lot, or product, or to assess variations anticipated across or along a product or component, depending on the nature of the material being tested and the purpose of the study. Sampling location and frequency should be based upon agreements between the manufacturers and the users.

6.2 Specimens should not be taken from areas affected by shearing, burning, or other processes that will alter the grain structure.

7. Test Specimens

7.1 In general, if the grain structure is equiaxed, any specimen orientation is acceptable. However, the presence of an equiaxed grain structure in a wrought specimen can only be determined by examination of a plane of polish parallel to the deformation axis.

7.2 If the grain structure on a longitudinally oriented specimen is equiaxed, then grain size measurements on this plane, or any other, will be equivalent within the statistical precision of the test method. If the grain structure is not equiaxed, but elongated, then grain size measurements on specimens with different orientations will vary. In this case, the grain size should be evaluated on at least two of the three principle planes, transverse, longitudinal, and planar (or radial and transverse for round bar) and averaged as described in Section 16 to obtain the mean grain size. If directed test lines are used, rather than test circles, intercept counts on non-equiaxed grains in plate or sheet type specimens can be made using only two principle test planes, rather than all three as required for the planimetric method.

7.3 The surface to be polished should be large enough in area to permit measurement of at least five fields at the desired

magnification. In most cases, except for thin sheet or wire specimens, a minimum polished surface area of 160 mm² (0.25 in.²) is adequate.

7.4 The specimen shall be sectioned, mounted (if necessary), ground, and polished according to the recommended procedures in Practice E 3. The specimen shall be etched using a reagent, such as listed in Practice E 407, to delineate most, or all, of the grain boundaries (see also Annex A3).

TABLE 1 Suggested Comparison Charts for Metallic Materials

NOTE 1—These suggestions are based upon the customary practices in industry. For specimens prepared according to special techniques, the appropriate comparison standards should be selected on a structural-appearance basis in accordance with 8.2.

Material	Plate Number	Basic Magnification
Aluminum	I	100X
Copper and copper-base alloys (see Annex A4)	III or IV	75X, 100X
Iron and steel:		
Austenitic	II or IV	100X
Ferritic	I	100X
Carburized	IV	100X
Stainless	II	100X
Magnesium and magnesium-base alloys	I or II	100X
Nickel and nickel-base alloys	II	100X
Super-strength alloys	I or II	100X
Zinc and zinc-base alloys	I or II	100X

8. Calibration

8.1 Use a stage micrometer to determine the true linear magnification for each objective, eyepiece and bellows, or zoom setting to be used within $\pm 2\%$.

8.2 Use a ruler with a millimetre scale to determine the actual length of straight test lines or the diameter of test circles used as grids.

9. Preparation of Photomicrographs

9.1 When photomicrographs are used for estimating the average grain size, they shall be prepared in accordance with Guide E 883.

10. Comparison Procedure

10.1 The comparison procedure shall apply to completely recrystallized or cast materials with equiaxed grains.

10.2 When grain size estimations are made by the more convenient comparison method, repeated checks by individuals as well as by interlaboratory tests have shown that unless the appearance of the standard reasonably well approaches that of the sample, errors may occur. To minimize such errors, the comparison charts are presented in four categories as follows:⁴

10.2.1 *Plate I*—Untwinned grains (flat etch). Includes grain size numbers 00, 0, 1/2, 1, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2, 4, 4 1/2, 5, 5 1/2, 6, 6 1/2, 7, 7 1/2, 8, 8 1/2, 9, 9 1/2, 10, at 100X.

10.2.2 *Plate II*—Twinned grains (flat etch). Includes grain size numbers, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

⁴ Plates I, II, III, and IV are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE011201 (Plate I), ADJE011202 (Plate II), ADJE011203 (Plate III), and ADJE011204 (Plate IV). A combination of all four plates is also available. Order Adjunct: ADJE011214.

10.2.3 *Plate III*—Twinned grains (contrast etch). Includes nominal grain diameters of 0.200, 0.150, 0.120, 0.090, 0.070, 0.060, 0.050, 0.045, 0.035, 0.025, 0.020, 0.015, 0.010, 0.005 mm at 75X.

10.2.4 *Plate IV*—Austenite grains in steel (McQuaid-Ehn). Includes grain size numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

10.3 Table 1 lists a number of materials and the comparison charts that are suggested for use in estimating their average grain sizes. For example, for twinned copper and brass with a contrast etch, use Plate III.

NOTE 1—Examples of grain-size standards from Plates I, II, III, and IV are shown in Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, and Fig. 4.

10.4 The estimation of microscopically-determined grain size should usually be made by direct comparison at the same magnification as the appropriate chart. Accomplish this by comparing a projected image or a photomicrograph of a representative field of the test specimen with the photomicrographs of the appropriate standard grain-size series, or with suitable reproductions or transparencies of them, and select the photomicrograph which most nearly matches the image of the test specimen or interpolate between two standards. Report this estimated grain size as the ASTM grain size number, or grain diameter, of the chart picture that most closely matches the image of the test specimen or as an interpolated value between two standard chart pictures.

10.5 Good judgment on the part of the observer is necessary to select the magnification to be used, the proper size of area (number of grains), and the number and location in the specimen of representative sections and fields for estimating the characteristic or average grain size. It is not sufficient to visually select what appear to be areas of average grain size. Recommendations for choosing appropriate areas for all procedures have been noted in 5.2.

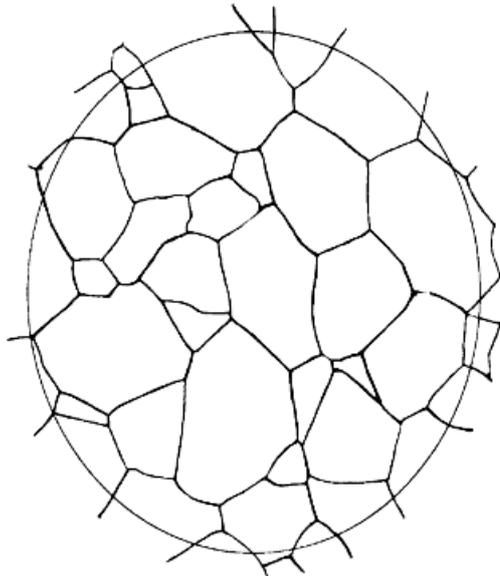


FIG. 1 Example of Untwinned Grains (Flat Etch) from Plate I. Grain Size No. 3 at 100X

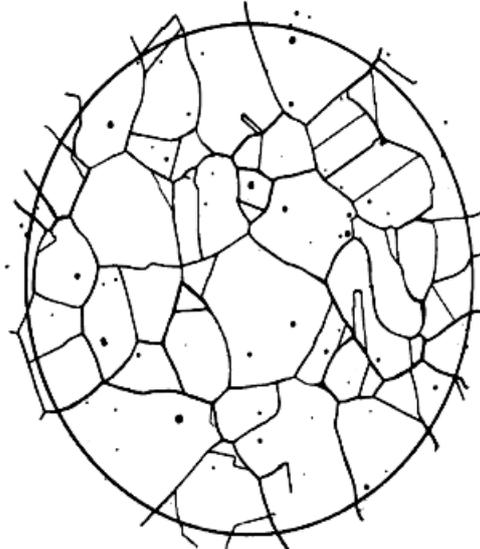


FIG. 2 Example of Twin Grains (Flat Etch) from Plate II. Grain Size No. 3 at 100X



FIG. 3 Example of Twin Grains (Contrast Etch) from Plate III. Grain Size 0.090 mm at 75X

10.6 Grain size estimations shall be made on three or more representative areas of each specimen section.

10.7 When the grains are of a size outside the range covered by the standard photographs, or when magnifications of 75X or 100X are not satisfactory, other magnifications may be employed for comparison by using the relationships given in Note 2 and Table 2. It may be noted that alternative magnifications

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{T} Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

11. Planimetric (or Jeffries') (3) Procedure

11.1 In the planimetric procedure inscribe a circle⁸ or rectangle of known area (usually 5000 mm² to simplify the calculations) on a micrograph or on the ground-glass screen of the metallograph. Select a magnification which will give at least 50 grains in the field to be counted. When the image is focused properly, count the number of grains within this area. The sum of all the grains included completely within the known area plus one half the number of grains intersected by the circumference of the area gives the number of equivalent whole grains, measured at the magnification used, within the area. If this number is multiplied by the Jeffries' multiplier, *f*, in the second column of Table 5 opposite the appropriate magnification, the product will be the number of grains per square millimetre N_A . Count a minimum of three fields to ensure a reasonable average. The number of grains per square millimetre at 1X, N_A , is calculated from:

$$N_A = f \left(N_{\text{inside}} + \frac{N_{\text{intercepted}}}{2} \right) \quad (4)$$

where *f* is the Jeffries' multiplier (see Table 5), N_{inside} is the number of grains completely inside the test circle and $N_{\text{intercepted}}$ is the number of grains that intercept the test circle. The average grain area, *A*, is the reciprocal of N_A , that is, $1/N_A$, while the mean grain diameter, *d*, as listed on Plate III (see 10.2.3), is the square root of *A*. This grain diameter has no

⁸ A transparent grid for the planimetric method is available from ASTM Headquarters. The transparency consists of two test circles, one with a diameter of 79.8 mm (5000 mm² area) and the other with a diameter of 159.6 mm (20 000 mm² area). Order Adjunct: ADJE011223.

TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier, *f*, for an Area of 5000 mm² (a Circle of 79.8-mm Diameter) (*f* = 0.0002 *M*²)

Magnification Used, <i>M</i>	Jeffries' Multiplier, <i>f</i> , to Obtain Grains/mm ²
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 ^A	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

^A At 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier, *f*, becomes unity if the area used is 5625 mm² (a circle of 84.5-mm diameter).

physical significance because it represents the side of a square grain of area *A*, and grain cross sections are not square.

11.2 To obtain an accurate count of the number of grains completely within the test circle and the number of grains intersecting the circle, it is necessary to mark off the grains on the template, for example, with a grease pencil or felt tip pen. The precision of the planimetric method is a function of the number of grains counted (see Section 19). The number of grains within the test circle, however, should not exceed about 100 as counting becomes tedious and inaccurate. Experience suggests that a magnification that produces about 50 grains within the test circle is about optimum as to counting accuracy per field. Because of the need to mark off the grains to obtain an accurate count, the planimetric method is less efficient than

the intercept method (see Section 12).

11.3 Fields should be chosen at random, without bias, as described in 5.2. Do not attempt to choose fields that appear to be typical. Choose the fields blindly and select them from different locations on the plane of polish.

11.4 By original definition, a microscopically-determined grain size of No. 1 has 1,000 grains/in.² at 100X, hence 15,500 grains/mm² at 1X. For areas other than the standard circle, determine the actual number of grains per square millimetre, N_A , and find the nearest size from Table 4. The ASTM grain size number, G , can be calculated from N_A (number of grains per mm² at 1X) using (Eq 1) in Table 6.

12. General Intercept Procedures

12.1 Intercept procedures are more convenient to use than the planimetric procedure. These procedures are amenable to use with various types of machine aids. It is strongly recommended that at least a manual tally counter be used with all intercept procedures in order to prevent normal errors in counting and to eliminate bias which may occur when counts appear to be running higher or lower than anticipated.

12.2 Intercept procedures are recommended particularly for all structures that depart from the uniform equiaxed form. For anisotropic structures, procedures are available either to make separate size estimates in each of the three principal directions, or to rationally estimate the average size, as may be appropriate.

12.3 There is no direct mathematical relationship between the ASTM grain size number, G , and the mean lineal intercept, unlike the exact relationship between G , N_{AE} , N_A and A (Eq 1) for the planimetric method. The relationship

$$\ell = \left(\frac{\pi}{4} A\right)^{1/2} \quad (5)$$

between the mean lineal intercept, ℓ , and the average grain area, A , is exact for circles but not quite exact for a structure of uniform equiaxed grains (see A2.2.2). Consequently, the relationship between the ASTM grain size number G and the mean lineal intercept has been defined so that ASTM No. 0 has a mean intercept size of precisely 32.00 mm for the macroscopically determined grain size scale and of 32.00 mm on a field of view at 100X magnification for the microscopically determined grain size scale. Thus:

$$G = 2 \log_2 \frac{\ell_0}{\ell} \quad (6)$$

TABLE 6 Grain Size Equations Relating Measured Parameters to the Microscopically Determined ASTM Grain Size, G

NOTE 1—Determine the ASTM Grain Size, G , using the following equations:

NOTE 2—The second and third equations are for single phase grain structures.

NOTE 3—To convert micrometres to millimetres, divide by 1000.

NOTE 4—A calculated G value of -1 corresponds to ASTM $G = 00$.

Equation	Units
$G = (3.321928 \log_{10} N_A) - 2.954$	N_A in mm ⁻²
$G = (6.643856 \log_{10} \bar{N}_L) - 3.288$	\bar{N}_L in mm ⁻¹
$G = (6.643856 \log_{10} P_L) - 3.288$	P_L in mm ⁻¹
$G = (-6.643856 \log_{10} \ell) - 3.288$	ℓ in mm

$$G = 10.00 - 2 \log_2 \ell \quad (7)$$

$$G = 10.00 + 2 \log_2 \bar{N}_L \quad (8)$$

where ℓ_0 is 32 mm and $\bar{\ell}$ and \bar{N}_L are in millimetres at 1X or number of intercepts per mm for the macroscopically determined grain size numbers and in millimetres or number per mm on a field at 100X for the microscopically determined grain size numbers. Using this scale, measured grain size numbers are within about 0.01 G units of grain size numbers determined by the planimetric method, that is, well within the precision of the test methods. Additional details concerning grain size relationships are given in Annex A1 and Annex A2.

12.4 The mean intercept distance, $\bar{\ell}$, measured on a plane section is an unbiased estimate of the mean intercept distance within the solid material in the direction, or over the range of directions, measured. The grain boundary surface area-to-volume ratio is given exactly by $S_v = 2 \bar{N}_L$ when \bar{N}_L is averaged over three dimensions. These relations are independent of grain shape.

13. Heyn (4) Lineal Intercept Procedure

13.1 Estimate the average grain size by counting (on the ground-glass screen, on a photomicrograph of a representative field of the specimen, or on the specimen itself) the number of grains intercepted by one or more straight lines sufficiently long to yield at least 50 intercepts. It is desirable to select a combination of test line length and magnification such that a single field will yield the required number of intercepts. One such test will nominally allow estimation of grain size to the nearest whole ASTM size number, at the location tested. Additional lines, in a predetermined array, should be counted to obtain the precision required. The precision of grain size estimates by the intercept method is a function of the number of grain interceptions counted (see Section 19). Because the ends of straight test lines will usually lie inside grains (see 14.3), precision will be reduced if the average count per test line is low. If possible, use either a longer test line or a lower magnification.

13.2 Make counts first on three to five blindly selected and widely separated fields to obtain a reasonable average for the specimen. If the apparent precision of this average (calculated as indicated in Section 15) is not adequate, make counts on sufficient additional fields to obtain the precision required for the specimen average.

13.3 An *intercept* is a segment of test line overlaying one grain. An *intersection* is a point where a test line is cut by a grain boundary. Either may be counted, with identical results in a single phase material. When counting intercepts, segments at the end of a test line which penetrate into a grain are scored as half intercepts. When counting intersections, the end points of a test line are not intersections and are not counted except when the end appears to exactly touch a grain boundary, when $1/2$ intersection should be scored. A tangential intersection with a grain boundary should be scored as one intersection. An intersection apparently coinciding with the junction of three grains should be scored as $1 1/2$. With irregular grain shapes, the test line may generate two intersections with different parts of the same grain, together with a third intersection with the

Fuente: NORMA ASTM E 112 – 96¹ Standard Test Method for Determining Average Grain Size ¹ Páginas: 4-5, 8-9.

ANEXO B.4.

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E 3 – 95 Standard Test Method for Preparation of Metallographic Specimens.¹



Designation: E 3 – 95

An American National Standard

Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens¹

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

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

1. Scope

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

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 1984.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- E 7 Terminology Relating to Metallography²
- E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel²
- E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys²
- E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys²
- E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens²
- E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures²
- E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens²

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.

Current edition approved Jan. 15, 1995. Published March 1995. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 80 (1986).

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

3. Significance and Use

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

3.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

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

4. Selection of Metallographic Specimens

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

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

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

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

4.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must

be decided. For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting. In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may at times require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product. In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.

4.3 Cross sections or transverse sections taken perpendicular to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.3.1 Variations in structure from center to surface,

4.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,

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

4.3.4 Depth of surface imperfections,

4.3.5 Depth of corrosion,

4.3.6 Thickness of protective coatings, and

4.3.7 Structure of protective coating.

4.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.4.1 Inclusion content of steel (see Practice E 45),

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

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

4.4.4 The quality attained with any heat treatment.

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

5. Size of Metallographic Specimens

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

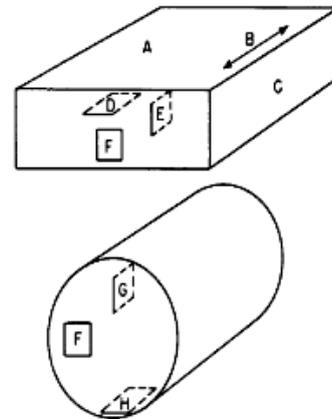
5.2 It is not always possible to secure specimens having the dimensions given in 5.1, when the material to be examined is smaller than the ideal dimensions. For example, in the polishing of wire, strip, and other small articles, it is necessary to mount the specimens because of their size and shape.

5.2.1 Larger samples may be mounted or not, as the available equipment dictates. However, the larger the specimen, the more difficult it is to prepare, especially by manual methods.

5.2.2 Specimens that are too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Sections 7-9).

6. Cutting of Metallographic Specimens

6.1 In cutting the metallographic specimen from the main



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Rolled surface
B	Direction of rolling
C	Rolled edge
D	Longitudinal (or lengthwise) section parallel to rolled surface
E	Longitudinal section perpendicular to rolled surface
F	Transverse section
G	Radial longitudinal section
H	Tangential longitudinal section

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

body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

6.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy and fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 35 HRC. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

6.1.2 An abrasive cut-off wheel will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off wheel, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily overheat the specimen, producing an alteration of the microstructure. As a general rule, soft materials are cut with a hard bond wheel and hard materials with a soft bond wheel. Aluminum oxide abrasive wheels are preferred for ferrous metals and silicon carbide wheels are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off wheels are essential for sectioning metals with hardnesses above about 35 HRC. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting wheels. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of wheel and speeds.

6.1.3 Flame cutting completely alters the structure of the metal at the flame cut edge. If flame cutting is necessary to remove the specimen, it should be cut sufficiently large so that it can be recut to the proper size by some other method that will not substantially alter the structure. Exercise care to ensure that

the region of interest is not altered by the heat of the cutting flame.

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

7. Cleanliness

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

7.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects. The coating can be removed by digestion in cold nitric acid (HNO_3 , sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H_2SO_4) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO_3 method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized.

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

8. Mounting of Specimens

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

8.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two can be used to provide optimum results.

8.3 Mechanical Mounting:

8.3.1 Strip and sheet specimens are frequently mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts. Clamp mounting generally affords a means of rapid mounting with very good edge retention.

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

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

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

8.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a

layer of phenolic or epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

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

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

8.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimens; however, good sealing is required to prevent absorption of polishing materials or etchants.

8.4 Plastic Mounting:

8.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression mounting and castable.

8.4.2 When mounting specimens in plastic, exercise care in order to avoid rounding of specimen edges during the grinding operation. There are several methods available that prevent rounding. The specimens may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using casting resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen to prevent rounding. The specimens may also be plated before mounting (see Section 9).

8.4.3 *Compression Mounting*—Thermosetting plastics require the use of a mounting press providing heat (up to approximately 160°C) and pressure (up to approximately 30 MPa). *The finished mounts can be ejected hot but the best results are obtained when the finished mount is cooled under pressure.* There are three types of thermosetting compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory. Regardless of the resin used to compression mount specimens, the best results are obtained when (1) the specimens are clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 30°C before ejection from the press.

8.4.3.1 Wood-filled bakelite resins cure in 5 to 10 min, are relatively inexpensive, can be obtained in several colors, and are opaque. These resins have a tendency to pull away from the specimen leaving a crevice, which will trap liquids that later can smear, stain, and obscure a portion of the specimen.

8.4.3.2 Diallyl phthalate resins are less likely to shrink and are more resistance to attack by etchants. They are more expensive than the phenolic resins with about the same hardness.

8.4.3.3 Filled dry epoxy resins provide minimal shrinkage. Commercial resins intended for metallography are usually filled with hard material, minimizing edge rounding during preparation. These resins are the most expensive of the three types of thermosetting plastics. Cost can be reduced by first adding a layer of filled epoxy resin and filling up the remainder of the press cavity with phenolic resin.

8.4.3.4 Resins are used in a similar fashion. Because of the

ANEXO B.5.

ESTRACTO DE LA NORMA ASTM E 10 – 01 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.¹



Designation: E 10 – 01

American Association State Highway
and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: T70-86
An American National Standard

Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 10; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 This test method (Test Method A) covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials, including methods for the verification of Brinell hardness testing machines (Test Method B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Test Method C).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

NOTE 1—In common terminology, the equivalent force in kgf is substituted for N.

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines²

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications³

E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines²

E 140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness²

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.1.1 *Brinell hardness number*—a number, which is proportional to the quotient obtained by dividing the test force by the curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

$$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{See Table 1}) \quad (1)$$

where:

D = diameter of the ball, mm,

F = test force, N, and

d = mean diameter of the indentation, mm.

The Brinell hardness is denoted by the symbol: HBW.

3.1.1.1 *Discussion*—In former standards, a steel ball was allowed for hardness values below 450. In cases when a steel ball was used, the Brinell hardness was denoted by HB or HBS.

3.1.1.2 *Discussion*—The symbol HBW is preceded by the hardness value. When conditions other than those specified in 11.1.2 are used, the hardness value is supplemented by an index indicating the test conditions in the order:

(1) Diameter of the ball, in mm,

(2) A value representing the test force in kg/f (see Table 3), and,

(3) Duration of loading, in s.

Examples:

350 HBW 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a ball of 5-mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 to 15 s.
600 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 600 determined with a ball of 1-mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s.

3.1.1.3 *Discussion*—Brinell hardness numbers vary with the test force used; however, test results will generally be in agreement when the ratio of the test force to the square of the ball diameter is held constant (see Table 3).

3.1.1.4 *Discussion*—Table 2 lists the Brinell hardness numbers corresponding to various diameters of indentations for 29.4 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), and 4.90 kN (500 kgf) test forces making it unnecessary to calculate for each test the value of the Brinell hardness number by the above equation in Table 1 when these forces are used with a 10-mm diameter ball.

3.1.2 *Brinell hardness test*—an indenter (tungsten carbide ball with diameter D) is forced into the surface of a test piece and the diameter of the indentation d left in the surface after removal of the test force, F , is measured. (see Table 1 and Figs. 1 and 2.)

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.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved February 10, 2001. Published April 2001. Originally published as E 10 – 24 T. Last previous edition E 10 – 00a.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

TABLE 1 Symbols and Designations

NOTE 1—Constant = $\frac{1}{g_e} = \frac{1}{9.806 65} = 0.102$

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
	$= \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
HBW	Brinell hardness
	$= \text{Constant} \times \frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	$= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D D - \sqrt{D^2 - d^2}}$

3.1.4 *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 $\pm 1\%$. 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 $\pm 3\%$ of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

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 3 Test Conditions

Hardness Symbol	Ball Diameter D, mm	0.102 F / D ²	Test Force F Nominal Value
HBW 10/3000	10	30	29.42 kN - (3000 kgf)
HBW 10/1500	10	15	14.71 kN - (1500 kgf)
HBW 10/1000	10	10	9.807 kN - (1000 kgf)
HBW 10/500	10	5	4.903 kN - (500 kgf)
HBW 10/250	10	2.5	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 10/125	10	1.25	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 10/100	10	1	980.7 N - (100 kgf)
HBW 5/750	5	30	7.355 kN - (750 kgf)
HBW 5/250	5	10	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 5/125	5	5	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 5/25	5	1	245.2 N - (25 kgf)
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1.839 kN - (187.5 kgf)
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2 N - (15.625 kgf)
HBW 2.5/7.812.5	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)

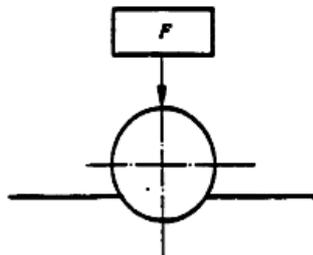


FIG. 1 Principle of Test

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

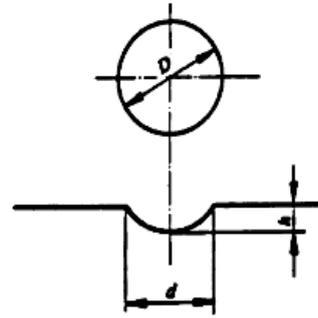


FIG. 2 Principle of Test

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	3000-kgf Force	1500-kgf Force	500-kgf Force
1/16	1.6	602	301	100
1/8	3.2	301	150	50
3/16	4.8	201	100	33
1/4	6.4	150	75	25
5/16	8.0	120	60	20
3/8	9.6	100	50	17

TABLE 6 Standard Test Forces

Ball Diameter, mm	Force	Recommended Range, HBW
10	29.42 kN (3000 kgf)	96 to 600
10	14.7 kN (1500 kgf)	48 to 300
10	4.90 kN (500 kgf)	16 to 100

be specifically stated in the test report (see 11.1.2).

Fuente: NORMA ASTM E 10 – 01 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.¹ Páginas: 1-2, 5.

ANEXO B.6.

ESTRACTO DE LA NORMA ASTM E 23 – 01 Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.¹



Designation: E 23 – 01

Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 23; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 These test methods describe notched-bar impact testing of metallic materials by the Charpy (simple-beam) test and the Izod (cantilever-beam) test. They give the requirements for: test specimens, test procedures, test reports, test machines (see Annex A1) verifying Charpy impact machines (see Annex A2), optional test specimen configurations (see Annex A3), pre-cracking Charpy V-notch specimens (see Annex A4), designation of test specimen orientation (see Annex A5), and determining the percent of shear fracture on the surface of broken impact specimens (see Annex A6). In addition, information is provided on the significance of notched-bar impact testing (see Appendix X1), methods of measuring the center of strike (see Appendix X2), and the availability of Charpy V-notch verification specimens (see Appendix X3).

1.2 These test methods do not address the problems associated with impact testing at temperatures below $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320\text{ }^{\circ}\text{F}$, $77\text{ }^{\circ}\text{K}$).

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units are provided for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in Section 5.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²

E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials³

E 604 Test Method for Dynamic Tear Energy of Metallic Materials³

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method²

E 1271 Practice for Qualifying Charpy Verification Specimens of Heat-treated Steel³

E 1313 Guide for Recommended Formats for Data Records Used in Computerization of Mechanical Test Data for Metals⁴

3. Summary of Test Method

3.1 The essential features of an impact test are: a suitable specimen (specimens of several different types are recognized), an anvil or support on which the test specimen is placed to receive the blow of the moving mass, a moving mass that has sufficient energy to break the specimen placed in its path, and a device for measuring the energy absorbed by the broken specimen.

4. Significance and Use

4.1 These test methods of impact testing relate specifically to the behavior of metal when subjected to a single application of a force resulting in multi-axial stresses associated with a notch, coupled with high rates of loading and in some cases with high or low temperatures. For some materials and temperatures the results of impact tests on notched specimens, when correlated with service experience, have been found to predict the likelihood of brittle fracture accurately. Further information on significance appears in Appendix X1.

5. Precautions in Operation of Machine

5.1 Safety precautions should be taken to protect personnel from the swinging pendulum, flying broken specimens, and hazards associated with specimen warming and cooling media.

6. Apparatus

6.1 General Requirements:

6.1.1 The testing machine shall be a pendulum type of rigid construction.

6.1.2 The testing machine shall be designed and built to conform with the requirements given in Annex A1.

6.2 Inspection and Verification

6.2.1 Inspection procedures to verify impact machines directly are provided in A2.2 and A2.3. The items listed in A2.2 must be inspected annually.

6.2.2 The procedures to verify Charpy V-notch machines

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28-07 on impact testing.

Current edition approved April 10, 2001. Published June 2001. Originally published as E 23 – 33 T. Last previous edition E 23 – 00.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.01.

indirectly, using verification specimens, are given in A2.4. Charpy impact machines must be verified annually.

7. Test Specimens

7.1 Configuration and Orientation:

7.1.1 Specimens shall be taken from the material as specified by the applicable specification. Specimen orientation should be designated according to the terminology given in Annex A5.

7.1.2 The type of specimen chosen depends largely upon the characteristics of the material to be tested. A given specimen may not be equally satisfactory for soft nonferrous metals and hardened steels; therefore, many types of specimens are recognized. In general, sharper and deeper notches are required to distinguish differences in very ductile materials or when using low testing velocities.

7.1.3 The specimens shown in Figs. 1 and 2 are those most widely used and most generally satisfactory. They are particularly suitable for ferrous metals, excepting cast iron.⁵

7.1.4 The specimen commonly found suitable for die-cast alloys is shown in Fig. 3.

7.1.5 The specimens commonly found suitable for powdered metals (P/M) are shown in Figs. 4 and 5. The specimen

surface may be in the as-produced condition or smoothly machined, but polishing has proven generally unnecessary. Unnotched specimens are used with P/M materials. In P/M materials, the impact test results are affected by specimen orientation. Therefore, unless otherwise specified, the position of the specimen in the machine shall be such that the pendulum will strike a surface that is parallel to the compacting direction.

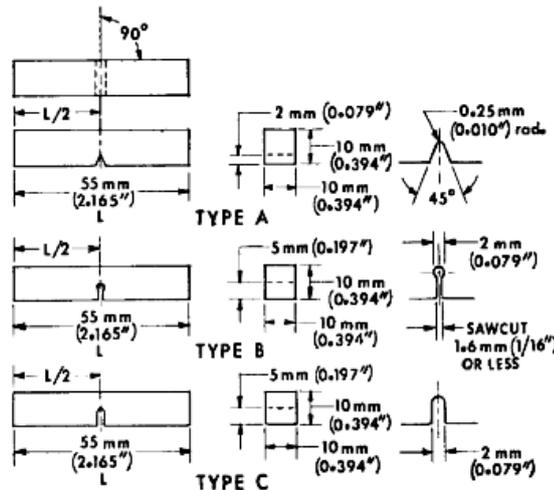
7.1.6 Sub-size and supplementary specimen recommendations are given in Annex A3.

7.2 Specimen Machining:

7.2.1 When heat-treated materials are being evaluated, the specimen shall be finish machined, including notching, after the final heat treatment, unless it can be demonstrated that the impact properties of specimens machined before heat treatment are identical to those machined after heat treatment.

7.2.2 Notches shall be smoothly machined but polishing has proven generally unnecessary. However, since variations in notch dimensions will seriously affect the results of the tests, adhering to the tolerances given in Fig. 1 is necessary (Appendix X1.2 illustrates the effects from varying notch dimensions on Type A specimens). In keyhole specimens, the round hole shall be carefully drilled with a slow feed rate. The slot may be cut by any feasible method, but care must be exercised in cutting the slot to ensure that the surface of the drilled hole opposite the slot is not damaged.

⁵ Report of Subcommittee XV on Impact Testing of Committee A-3 on Cast Iron. Proceedings, ASTM, Vol 33 Part 1, 1933.



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Cross-section dimensions	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Length of specimen (L)	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)
Centering of notch (L/2)	± 1 mm (± 0.039 in.)
Angle of notch	± 1°
Radius of notch	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Notch depth:	
Type A specimen	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Types B and C specimen	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Finish requirements	2 μm (83 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

FIG. 1 Charpy (Simple-Beam) Impact Test Specimens, Types A, B, and C

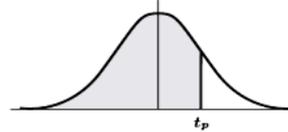
Fuente: NORMA ASTM E 23 – 01 Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.¹ Páginas: 1-2.

ANEXO B.7.

Tabla de valores percentiles (t_p) correspondientes a la Distribución t de Student.

Apéndice III

Valores percentiles (t_p) correspondientes a la distribución t de Student con ν grados de libertad (área sombreada = p)



ν	$t_{.995}$	$t_{.99}$	$t_{.975}$	$t_{.95}$	$t_{.90}$	$t_{.80}$	$t_{.75}$	$t_{.70}$	$t_{.60}$	$t_{.55}$
1	63.66	31.82	12.71	6.31	3.08	1.376	1.000	.727	.325	.158
2	9.92	6.96	4.30	2.92	1.89	1.061	.816	.617	.289	.142
3	5.84	4.54	3.18	2.35	1.64	.978	.765	.584	.277	.137
4	4.60	3.75	2.78	2.13	1.53	.941	.741	.569	.271	.134
5	4.03	3.36	2.57	2.02	1.48	.920	.727	.559	.267	.132
6	3.71	3.14	2.45	1.94	1.44	.906	.718	.553	.265	.131
7	3.50	3.00	2.36	1.90	1.42	.896	.711	.549	.263	.130
8	3.36	2.90	2.31	1.86	1.40	.889	.706	.546	.262	.130
9	3.25	2.82	2.26	1.83	1.38	.883	.703	.543	.261	.129
10	3.17	2.76	2.23	1.81	1.37	.879	.700	.542	.260	.129
11	3.11	2.72	2.20	1.80	1.36	.876	.697	.540	.260	.129
12	3.06	2.68	2.18	1.78	1.36	.873	.695	.539	.259	.128
13	3.01	2.65	2.16	1.77	1.35	.870	.694	.538	.259	.128
14	2.98	2.62	2.14	1.76	1.34	.868	.692	.537	.258	.128
15	2.95	2.60	2.13	1.75	1.34	.866	.691	.536	.258	.128
16	2.92	2.58	2.12	1.75	1.34	.865	.690	.535	.258	.128
17	2.90	2.57	2.11	1.74	1.33	.863	.689	.534	.257	.128
18	2.88	2.55	2.10	1.73	1.33	.862	.688	.534	.257	.127
19	2.86	2.54	2.09	1.73	1.33	.861	.688	.533	.257	.127
20	2.84	2.53	2.09	1.72	1.32	.860	.687	.533	.257	.127
21	2.83	2.52	2.08	1.72	1.32	.859	.686	.532	.257	.127
22	2.82	2.51	2.07	1.72	1.32	.858	.686	.532	.256	.127
23	2.81	2.50	2.07	1.71	1.32	.858	.685	.532	.256	.127
24	2.80	2.49	2.06	1.71	1.32	.857	.685	.531	.256	.127
25	2.79	2.48	2.06	1.71	1.32	.856	.684	.531	.256	.127
26	2.78	2.48	2.06	1.71	1.32	.856	.684	.531	.256	.127
27	2.77	2.47	2.05	1.70	1.31	.855	.684	.531	.256	.127
28	2.76	2.47	2.05	1.70	1.31	.855	.683	.530	.256	.127
29	2.76	2.46	2.04	1.70	1.31	.854	.683	.530	.256	.127
30	2.75	2.46	2.04	1.70	1.31	.854	.683	.530	.256	.127
40	2.70	2.42	2.02	1.68	1.30	.851	.681	.529	.255	.126
60	2.66	2.39	2.00	1.67	1.30	.848	.679	.527	.254	.126
120	2.62	2.36	1.98	1.66	1.29	.845	.677	.526	.254	.126
∞	2.58	2.33	1.96	1.645	1.28	.842	.674	.524	.253	.126

Fuente: R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* (Tablas de estadísticas para la investigación biológica, agrícola y médica) (5a. edición), Tabla III, Oliver and Boyd Ltd., Edinburgh, con autorización de los autores y editores.

Fuente: Murray, R., Larry, J. (2009) *Estadística Shaum*. (4ta edición ed). México: McGrawHill.

Fuente: SCHMOLZ BICKENBACH MEXICO, S.A. DE C.V.

ANEXO B.8.

Tabla de conversión de durezas.

TABLA DE CONVERSION DE DUREZAS						
resistencia a la traccion, Brinell, Vickers y Rockwell						
RESISTENCIA A LA TRACCION	DUREZA BRINELL		DUREZA VICKERS	DUREZA ROCKWELL		
	DIAMETRO DE BOLA EN MM			HRB	HRC	HR30N
N/mm2	d	HB	HV			
255	6,630	76,00	80			
270	6,450	80,70	85	41		
285	6,300	85,50	90	48		
305	6,160	90,20	95	52		
320	6,010	95,00	100	56,2		
335	5,900	99,80	105			
350	5,750	105	110	62,3		
370	5,650	109	115			
385	5,540	114	120	66,7		
400	5,430	119	125			
415	5,330	124	130	71,2		
430	5,260	128	135			
450	5,160	133	140	75		
465	5,080	138	145			
480	4,990	143	150	78,7		
495	4,930	147	155			
510	4,850	152	160	81,7		
530	4,790	156	165			
545	4,710	162	170	85		
560	4,660	166	175			
575	4,590	171	180	87,1		
595	4,530	176	185			
610	4,470	181	190	89,5		
625	4,430	185	195			
640	4,370	190	200	91,5		
660	4,320	195	205	92,5		
675	4,270	199	210	93,5		
690	4,220	204	215	94		
705	4,180	209	220	95		
720	4,130	214	225	96		
740	4,080	219	230	96,7		
755	4,050	223	235			
770	4,010	228	240	98,1	20,3	41,7
785	3,970	233	245		21,3	42,5
800	3,920	238	250	99,5	22,2	43,4
820	3,890	242	255		23,1	44,2
835	3,860	247	260	-101	24	45
850	3,820	252	265		24,8	45,7
865	3,780	257	270	-102	25,6	46,4
880	3,750	261	275		26,4	47,2
900	3,720	266	280	-104	27,1	47,8
915	3,690	271	285		27,8	48,4
930	3,660	276	290	-105	28,5	49
950	3,630	280	295		29,2	49,7
965	3,600	285	300		29,8	50,2
995	3,540	295	310		31	51,3
1030	3,490	304	320		32,2	52,3
1060	3,430	314	330		33,3	53,6
1095	3,390	323	340		34,4	54,4
1125	3,340	333	350		35,5	55,4
1155	3,290	342	360		36,6	56,4
1190	3,250	352	370		37,7	57,4
1220	3,210	361	380		38,8	58,4
1255	3,170	371	390		39,8	59,3
1290	3,130	380	400		40,8	60,2



Fuente: NORMA ASTM G 83 – 96 Método de prueba estándar para pruebas con un Aparato de Cilindros Cruzado.¹ Páginas: 1-4.

ANEXO B.9.



Designación: G 83-96

Método de prueba estándar para pruebas de desgaste con un Aparato de Cilindros Cruzado¹

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija G 83, el número inmediatamente siguiente a la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. Un exponente epsilon (e) indica un cambio editorial desde la última revisión o re-aprobación.

1 ALCANCE

1.1 Este método de ensayo cubre una prueba de laboratorio para la clasificación de pares metálicos en su resistencia al desgaste por deslizamiento utilizando el aparato de cilindros cruzados. Durante la prueba, el desgaste se produce entre el contacto de un cilindro giratorio y un cilindro estacionario, que tienen sus ejes largos orientados normales el uno al otro.

1.2 Cuando la rotación y los cilindros estacionarios son del mismo material, los resultados del desgaste se reportan como la pérdida total del volumen en milímetros cúbicos para la rotación y los cilindros estacionarios. La forma de registrar los resultados también especifica el procedimiento de ensayo particular utilizado. El valor se obtiene mediante la adición de la pérdida de volumen del miembro giratorio a la pérdida de volumen del miembro no giratorio. Los materiales de mayor resistencia al desgaste tendrán la pérdida de volumen bajo.

NOTA 1.- Para lograr uniformidad entre laboratorios, la intención de este método de ensayo requiere que la pérdida de volumen debido al desgaste se presente sólo en el sistema métrico como milímetros cúbicos ($1\text{mm}^3 = 6,102 \times 10^{-5} \text{in}^3$).

1.3 Cuando se están probando materiales diferentes, los resultados de la prueba se presentan como la pérdida de volumen total en milímetros cúbicos para la prueba de cilindros giratorios y estacionarios, así como la pérdida de volumen de cada cilindro por separado.

Cuando se prueban dos metales o aleaciones diferentes, también se recomienda que cada metal o aleación se ensaye en ambas de las posiciones estacionarias y móviles. Entonces, para cada metal o aleación, el volumen combinado de desgaste en ambas posiciones se debe utilizar en las comparaciones con volumen de desgaste auto-acoplado.

1.4 El método de ensayo describe tres procedimientos recomendados que son apropiados para diferentes grados de resistencia al desgaste.

NOTA 2.- La prueba de desgaste de cilindros cruzados inherentemente exhibe un tiempo que varía con el área de contacto. Una parcela de volumen de desgaste frente a la distancia de deslizamiento es generalmente lineal. Por lo tanto, los resultados obtenidos utilizando otros parámetros distintos de los especificados en el método de prueba no se pueden utilizar para calcular un valor esperado.

1.4.1 Procedimiento A- Esto es una prueba relativamente severo que se ubicará materiales metálicos que tienen alta resistencia al desgaste. Los materiales con resistencia al desgaste en la categoría de acero para herramientas de alta velocidad son particularmente adecuados para esta prueba.

1.4.2 Procedimiento B- Se trata de una variación a corto plazo de Procedimiento A.

1.4.3 Procedimiento C- Esta es una velocidad más baja a corto plazo de la variación del Procedimiento A que es particularmente útil en la clasificación de materiales de baja resistencia al desgaste.

1.5 En el informe, se prefieren los valores indicados en unidades SI.

1.6 Esta norma no pretende dirigir todas las inquietudes sobre seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

2.1 Normas ASTM:

E 122 Práctica Para elegir el tamaño de muestra para estimar una medida de la calidad de un lote o Proceso

E 177 Prácticas para el Uso de la precisión Términos y sesgo en el método de ensayo ASTM²

G 40 Terminología relacionada con desgaste y Erosión.³

3. TERMINOLOGÍA

3.1 Definiciones utilizadas en este método de ensayo se definen de acuerdo con la terminología de G 40 de la siguiente manera:

3.1.1 *Coefficiente De Fricción* o *f* en tribología la relación sin dimensiones de la fuerza de fricción (F) entre dos cuerpos a la fuerza normal (N) presionando estos cuerpos juntos

$$\mu = (F/N)$$

3.1.2 *Desechos* en tribología, partículas que se hayan desprendido en un proceso de desgaste o erosión.

3.1.3 *Lubricante* cualquier sustancia interpuesta entre dos superficies para el propósito de reducir la fricción o el desgaste entre ellas.

3.1.4 *Desgaste* daños a una superficie sólida que implica la pérdida progresiva de material, debido al movimiento relativo entre una superficie y una sustancia o sustancias.

3.1.5 *Velocidad de desgaste* la tasa de eliminación de material o cambio dimensional debido al desgaste por unidad de parámetro de exposición, por ejemplo, la cantidad de material eliminado (masa, volumen, espesor) en la unidad de distancia de deslizamiento o unidad de tiempo.

3.1.5.1 *Discusión*-Debido a la posibilidad de confusión, la forma de la tasa de desgaste de la computación debe ser siempre cuidadosamente especificado.

Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G-2 on Wear and Erosion and is the direct responsibility of Subcommittee G02.40 on Non-Abrasive Wear. Current edition approved Nov. 11, 1996. Published January 1997. Originally published as G 83 - 89. Last previous edition G 83 - 90.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.



Figura 1 Falex cruzados Cilindros prueba de la máquina

3.2 DEFINICIONES DE LOS TÉRMINOS ESPECÍFICOS DE ESTA NORMA:

3.2.1 Carga Aplicada la carga de peso muerto colocado en las cruzadas cilindros.

3.2.1.1 Discusión El peso del soporte de la muestra estacionaria está incluido.

3.2.2 Aparato De Máquina de Cilindros Cruzados capaz de probar dos probetas cilíndricas, situadas perpendiculares entre sí bajo carga, uno que gira a una velocidad especificada, mientras que el otro es estacionario.

3.2.3 Distancia Deslizante la distancia calculada, como el producto de la circunferencia del cilindro sin uso y el número de revoluciones.

3.2.4 Velocidad Deslizante la velocidad de ensayo de la probeta giratoria.

3.2.5 Camino de Desgaste -el daño de la superficie visual debido al movimiento relativo entre los especímenes cilindros cruzados.

4. RESUMEN DEL MÉTODO

4.1 Para la prueba de desgaste de cilindros cruzados, dos probetas cilíndricas están situados perpendiculares entre sí. La máquina de prueba debe permitir un espécimen para girar a velocidades de hasta 400 r / min. El segundo, no giratorio espécimen se presiona contra los especímenes que gira a una carga especificada por medio de un brazo y pesos adjuntos. Es la intención del diseño del aparato que se utiliza la carga de peso muerto. La duración de la prueba y velocidad de rotación son muy variadas como se ha señalado en los Procedimientos de la A a C (véase la Sección 8).

4.2 La cantidad de desgaste se determina pesando las muestras antes y después de la prueba. Debido a las grandes diferencias en la densidad de los materiales, es necesario para convertir la pérdida de peso a la pérdida de volumen en milímetros cúbicos. Mediciones de desgaste se presentan como la pérdida de volumen por procedimiento especificado.

5. IMPORTANCIA Y USO

5.1 La cantidad de desgaste en cualquier sistema será, en general, dependerá de un número de factores tales como la carga aplicada,

velocidad de deslizamiento, la distancia de deslizamiento, el medio ambiente, así como las propiedades del material. En este método de ensayo, estas condiciones están estandarizados para proporcionar un medio para determinar las tasas de desgaste relativos de las diferentes parejas de metal. El valor del método de ensayo se encuentra en la predicción de la clasificación relativa de los diversos materiales en los que el contacto de metal a metal se lleva a cabo. Dado que el método de ensayo no trata de duplicar todas las condiciones que puede ser experimentado en el servicio (por ejemplo, lubricante, la carga, la eliminación de los desechos de desgaste, y presencia de ambiente corrosivo), no hay ninguna garantía de que la prueba se predice la tasa de desgaste relativo de un material dado, en condiciones diferentes de las de la prueba.

6. APARATO

6.1 Descripción General-Fig. La figura 1 muestra un diseño disponible en el mercado de estos equipos de prueba. Este tipo de máquina consistirá típicamente en un husillo accionado por correa, un dispositivo de mandril o pinza para sujetar la probeta de rotación, un dispositivo de palanca-brazo para sostener el espécimen no giratorio y archivos adjuntos para permitir que el espécimen no giratorio al ser forzado contra la probeta giratoria con una carga controlada. La unidad disponible comercialmente tiene un sistema de medición de fuerza de fricción opcional que permite coeficiente de fricción para ser calculada.^{4,5}

6.2 Rotación del Contenedor de muestras.- Esta parte fundamental del dispositivo de prueba consiste en un mandril o collar y un sistema de apoyo preciso. Un mandril de tres mordazas se ha encontrado que es insatisfactoria y no se recomienda su uso.

6.3 Motor.- la velocidad del motor debe ser variable, y es necesario que sea capaz de mantener una velocidad constante bajo carga. El tamaño mínimo del motor debe ser 0,56 kW (3/4 hp). El motor debe ser montado de tal manera que su vibración no afecta a los dos cilindros. El sistema de accionamiento entre la probeta giratoria y el motor debe ser de giro positivo de modo que no exista deslizamiento. Debe obtenerse una velocidad variable de hasta 400 r/min (41.9 rad/s). La velocidad de prueba se debe establecer con precisión, de preferencia con una lectura digital de la velocidad.

⁴ Original users of this test method designed and fabricated their own test machines.

⁵ The sole source of supply of a commercially built apparatus known to the committee at this time is Falex Corp., 2055 Comprehensive Dr., Aurora, IL 60505. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend.

6.4 Contador de Revoluciones.- La máquina deberá estar equipada con un contador de revoluciones que registrará el número de revoluciones de las muestras según se especifica en el procedimiento. Se recomienda que el contador de ciclos tenga la capacidad de apagar la máquina después de que se obtiene un número preseleccionado de revoluciones.

6.5 obturador no giratorio Contenedor de muestras y brazo de palanca.- El soporte de la muestra se une al brazo de palanca que tiene un pivote.

Si se desequilibra la palanca, es necesario comprobar la carga en los especímenes con una medición de la fuerza directa. El diseño comercial utiliza una palanca de calibrado que es equilibrado y el peso produce una fuerza de ensayo proporcional a los pesos aplicados.

6.6 Balanza analítica -. La balanza utilizada para medir la pérdida de masa de la muestra de ensayo tendrá una sensibilidad de 0,1 mg.

7. LAS MUESTRAS DE PRUEBA Y SU PREPARACIÓN

7.1 Materiales -. Esta prueba se puede aplicar a una variedad de materiales metálicos, tales como metales forjado, piezas de fundición, depósitos de pulverización por plasma, y metales en polvo. El único requisito es que las muestras que tienen las dimensiones especificadas se pueden preparar y que van a soportar las tensiones impuestas durante la prueba sin fallo o flexión excesiva. Los materiales que se están probando se designarán mediante composición, tratamiento térmico, la forma del producto, y la dureza.

7.2 Especificaciones Specimen -. La muestra típica es de forma cilíndrica que tiene dimensiones veces el diámetro de 12.7 mm de 102-mm de largo, como se muestra en la figura (0.5-en tiempos de diámetro 4.0-en largo.). 2. Desde el descentramiento es crítico todas las muestras deben ser limados en centros capaces de mantener la forma cilíndrica de la pieza de diámetro exterior en 0.0025 mm (0.0001 pulgadas).

7.3 Muestras Las muestras Finish.-prueba serán rectos y libres de escala. La rugosidad superficial de 1.25 μm (32 μm.) Media aritmética o menos es aceptable. Las mediciones se efectuarán con el trazado paralelo al eje del cilindro. Indique el tipo de superficie o de preparación de la superficie en la hoja de datos.

8. PARÁMETROS DE LA PRUEBA

8.1 Tabla 1 especifica la fuerza aplicada, el número de revoluciones, y la velocidad de prueba para los tres procedimientos de ensayo.

TABLE 1 Test Parameters Applied Force^A

Specified Procedure	Equivalent (Newtons)	Force kgf	Pounds Equivalent	Revolutions	Speed, r/min ^B
A	71.2	7.26	16	80 000	400
B	71.2	7.26	16	40 000	400
C	71.2	7.26	16	10 000	100

^A Tolerancia de la Fuerza = ± 3 %.
^B Tolerancia de la Velocidad = ± 2 %.

8.2 Duración.-La duración de la prueba será de aproximadamente 200 minutos para realizar el procedimiento A, y 100 min para los procedimientos B y C. El número de revoluciones y no el tiempo será el parámetro de control.

9. PROCEDIMIENTO

9.1 Limpieza -. Inmediatamente antes del pesaje, los especímenes deben estar limpios y secos. Se debe tener cuidado para eliminar toda la suciedad y cuerpos extraños de la muestra. Los materiales con los granos abiertos (algunos metales en polvo) deben secarse para eliminar todos los restos de la solución de detergente puede haber quedado atrapado en el material. Desmagnetice especímenes de acero que tienen magnetismo residual.

Registrar los métodos utilizados para la limpieza.

9.2 Pesarse los especímenes al 0.0001 g.

9.3 El cilindro giratorio se inserta en el dispositivo de sujeción. Un medidor de línea se coloca perpendicular al cilindro giratorio de la ubicación probable de la huella de desgaste. El indicador de cuadrante se lee continuamente a medida que el cilindro giratorio pasa a través de una o más revoluciones completas. La desviación de la lectura en el centro de carátula deberá ser inferior a 0.0051 mm (0.0002 pulgadas). La determinación final de la concentricidad se determinará a la velocidad de la prueba deseada.

9.4 Inserte el espécimen no giratorio con seguridad en su titular y añadir la masa adecuada para desarrollar la fuerza prescrita presionando el espécimen no giratorio contra la probeta giratoria. La fuerza puede ser medida por medio de una balanza de precisión de primavera que se engancha alrededor de la muestra y se retiraron para levantar la muestra fuera de la rueda.

9.5 Establecer la revolución en contra de la cantidad prescrita de revoluciones.

9.6 Comience la rotación, ajustar la velocidad a dentro del + - 2 r / min a 100 r / min y 68 r / min a 400 r / min.

9.7 Cuando la prueba se ha ejecutado el número deseado de revoluciones, levantar el espécimen estacionario de distancia de la muestra de rotación.

9.8 Retire los especímenes y limpiar la muestra de partículas de desgaste. Tenga en cuenta la existencia de un labio, metal desplazada, retenido óxido, decoloración, microfisuras, o manchado.

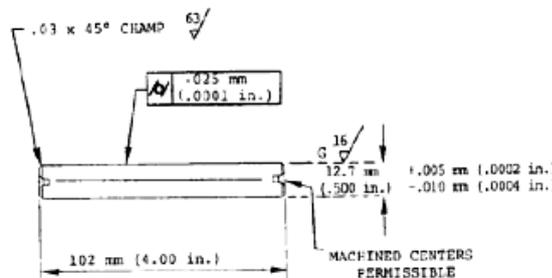


FIG. 2 Typical Test Specimen

9.9 REWEIGH las muestras al 0,0001 g.

10. INFORME

10.1 Los resultados de las pruebas de desgaste deberán incluirse en la pérdida total del volumen en milímetros cúbicos para parejas como por el procedimiento específico utilizado en la prueba. La pérdida de volumen para cada barra en cada posición debe ser reportado para parejas diferentes.

10.1.1 Por ejemplo, _____ mm³ por ASTM _____, Procedure _____. Si bien los resultados de pérdida de masa se pueden utilizar internamente en laboratorios de ensayo para comparar los materiales de densidades equivalentes, es esencial que todos los usuarios de este procedimiento de ensayo informan de sus resultados de manera uniforme como la pérdida de volumen en las publicaciones o informes de manera que no haya confusión causada por las variaciones en la densidad de .

Se debe tener cuidado al usar el mejor valor de la densidad a disposición de los materiales específicos (s) ensayados.

10.1.2 La siguiente ecuación para la conversión de la pérdida de masa de la pérdida de volumen se puede utilizar:

$$\text{Volumen perdido (mm}^3\text{)} = \frac{\text{masa perdida (gr)}}{\text{densidad}(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3})} \times 1000$$

10.2 Si los materiales que están siendo tratados considerable transferencia de exposición sin pérdida desde el sistema, la pérdida de volumen puede no reflejar adecuadamente la cantidad real o la gravedad de desgaste. En estos casos, este método de ensayo no debe ser utilizado.

10.3 Si los materiales están probando exposición deformación física durante la prueba y el metal desplazado aumenta el diámetro del espécimen por más de 0,002 pulgadas (0,051 mm), entonces este método de ensayo no debe utilizarse.

11. PRECISIÓN Y SESGO

11.1 La precisión y el sesgo de las medidas obtenidas con este procedimiento de ensayo dependerán de cumplimiento estricto de los parámetros de prueba especificados.

11.2 La reproducibilidad de las pruebas repetidas en el mismo material dependerá de la homogeneidad del material, de la máquina y la interacción de material, y cuidadosa adhesión al procedimiento de la prueba especificada por un operador de la máquina competente.

11.3 variaciones normales en el procedimiento tenderá a reducir la precisión del método en comparación con la exactitud de tales pruebas de las propiedades del material como la dureza, la densidad, o la tasa de expansión térmica. Ensayos realizados adecuadamente serán, sin embargo, mantener dentro de un coeficiente de laboratorio de variación de 15% o menos de los valores de pérdida de volumen. Pruebas entre laboratorios han demostrado un coeficiente de variación de 30% entre los laboratorios.

11.4 Funcionamiento de la máquina inicial y calificación-El número de pruebas necesarias para establecer la precisión de la máquina durante las operaciones iniciales de la máquina será de al menos cinco para cada uno de los procedimientos de ensayo A, B y C. Las muestras se tomarán de la misma material homogéneo.

11.5 La desviación estándar de la media aritmética se calculará a partir de los resultados de las pruebas acumuladas y reduce el coeficiente de variación.

El coeficiente de variación no debe superar el 15%. Si se supera este valor, el funcionamiento de la máquina se considerará fuera de control y las medidas adoptadas para eliminar resultados erráticos.

11.6 En cualquier serie de ensayos, todos los datos deben ser considerados en el cálculo, incluyendo los valores extremos (datos que excedan el rango obvio). Por ejemplo, un excesivamente alto o bajo volumen de pérdidas no debe ser tenida en cuenta, salvo en el caso de la operación de la máquina defectuosa obvio.

11.7 Si dos o más laboratorios pueden desarrollar los datos de prueba que se encuentra dentro del coeficiente de variación aceptable para su propio aparato de ensayo individual, los datos reales de cada laboratorio puede ser relativamente distantes. La selección de tamaño de la muestra y el método para establecer la significación de la diferencia

en los promedios serán acordados entre los laboratorios, que se basará en el método estadístico establecido de la norma ASTM E 122, ASTM E 177, y STP 15D.⁶

11.8 La Tabla 2 muestra los rangos de pérdida de volumen de los materiales típicos establecidos en las pruebas entre laboratorios por el sub-comité. Ellos pueden ser utilizados como una indicación general del sesgo de resultados de la prueba.

TABLA 2 Rangos Típicos de la pérdida de volumen

NOTA 1-Todas las muestras se auto una vez acoplado

	Material		
	M4	1020	304
Condition	hardened, tempered	hot rolled	hot rolled, annealed
Microstructure	alloy carbides and tempered martensite	pearlite and ferrite	austenite
Hardness	64 HRC	69 HRB	78 HRB
Volume Loss:			
Procedure A, mm ³	1.00 +/- 0.30		
Procedure B, mm ³	0.5 +/- 0.15		24.5 +/- 2
Procedure C,		210 +/- 20	9 +/- 2

12. VALORES TÍPICOS DE PÉRDIDA DE VOLUMEN

12.1 La prueba de desgaste de cilindros cruzados se producen pérdidas de volumen en los materiales metálicos. Cuanto más usan materiales resistentes desarrollarán la menor pérdida de volumen. La Tabla 2 muestra los rangos de pérdida de volumen típicos que se pueden esperar en los metales mencionados.

Ellos se ofrecen sólo como recomendaciones y no como especificaciones de compra.

12.2 Las especificaciones de los materiales relacionados con este método de ensayo deben ser acordados entre el vendedor y el comprador de material.

13. Palabras clave

13.1 aparatos tachado cilindro parejas metálicos; desgaste abrasivo, desgaste por deslizamiento, tribología, clasificación de resistencia al desgaste, prueba de desgaste

Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

⁶ Manual on Quality Control of Materials, ASTM STP 15D, ASTM, 1951.