



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“OBTENCIÓN Y ENSAYOS DE LA ALEACIÓN DE ZINC
ALUMINIO 27 REFORZADO CON PARTÍCULAS
CERAMICAS”**

**SOLÓRZANO MENDOZA CLAUDIA MARÍA
ULLOA MENTA JOSÉ LUIS**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2015**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2015-03-12

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**SOLÓRZANO MENDOZA CLAUDIA MARÍA
ULLOA MENTA JOSÉ LUIS**

Titulada:

**“OBTENCIÓN Y ENSAYOS DE LA ALEACIÓN DE ZINC ALUMINIO 27
REFORZADO CON PARTÍCULAS CERAMICAS”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Mario Pastor R. MS&E
DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Pérez
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SOLÓRZANO MENDOZA CLAUDIA MARÍA

TÍTULO DE LA TESIS: “OBTENCIÓN Y ENSAYOS DE LA ALEACIÓN DE ZINC ALUMINIO 27 REFORZADO CON PARTÍCULAS CERAMICAS”

Fecha de Examinación: 2015-11-30

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Mario Pastor R. MS&E DIRECTOR DE TESIS			
Ing. José Pérez ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Edwin Viteri
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ULLOA MENTA JOSÉ LUIS

TÍTULO DE LA TESIS: “OBTENCIÓN Y ENSAYOS DE LA ALEACIÓN DE ZINC ALUMINIO 27 REFORZADO CON PARTÍCULAS CERAMICAS”

Fecha de Examinación: 2015-11-30

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Mario Pastor R. MS&E DIRECTOR DE TESIS			
Ing. José Pérez ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Edwin Viteri
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Solórzano Mendoza Claudia María

Ulloa Menta José Luis

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis va dedicado con mucho amor a Dios. A mis padres por todo el apoyo brindado para cumplir mi meta académica y hacer de mí una mejor mujer.

A mi esposo, amigo y compañero por haber estado junto a mí en los buenos y malos momentos y haberme brindado su apoyo, amor y confianza. A mi hija por ser la inspiración y motivación para seguir luchando cada día.

A mis hermanos, por su confianza, consejos y ayuda idónea en todo momento, estando siempre allí para mí.

A mi familia, hermanos, y amigos que de una u otra forma han formado parte de mi vida en esta etapa de mi vida.

Claudia Solórzano Mendoza

Este trabajo de investigación va dedicado a Dios. A mis padres por toda la confianza depositada en mí, por su apoyo en cada momento, por ayudarme a culminar mis estudios e inculcarme los valores para hacer de mí un buen hombre.

A mi esposa que ha sido mi motivación en cada momento, por su amor, sus consejos y su apoyo. A mi hija que por ser mi inspiración y hacerme crecer como ser humano.

A mi familia, abuelitos y hermanos, por su confianza, consejos, su gran amor y dedicación hacia mí.

A mis amigos que de una u otra forma me han ayudado en esta etapa de mi vida.

José Luis Ulloa Menta

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos en primer lugar a Dios por darme la vida y las oportunidades para estar hoy aquí realizando una meta en mi vida.

A mis padres, por guiarme por el camino correcto en cada etapa de mi vida, y su apoyo incondicional en todo momento sin importar las adversidades.

A mis hermanos y demás familiares por estar presentes en mi vida y ayudarme en las dificultades que se me han presentado en el camino.

A mis profesores, por haber sido la guía en este camino estudiantil y compartir sus conocimientos y experiencias profesionales.

Claudia Solórzano Mendoza

Mis más sinceros agradecimientos en primer lugar a Dios por darme la oportunidad de estar aquí hoy y haber cumplido esta meta.

A mis padres, por su apoyo incondicional y ser mis guías a lo largo de cada etapa de mi vida.

A mis hermanos y demás familiares por ayudarme a superar cada adversidad.

A mis profesores, por haber sido la guía en este camino estudiantil y compartir sus conocimientos y experiencias profesionales.

José Luis Ulloa Menta

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. Aleaciones de zinc.....	4
2.1.1. <i>Aleaciones ZA</i>	4
2.1.2. <i>Aleaciones ZA27</i>	7
2.2. Refuerzo con partículas Cerámicas.....	7
2.2.1. <i>Carburo de Silicio</i>	8
2.2.2. <i>Alúmina</i>	9
2.2.3. <i>Cuarzo</i>	10
2.2.4. <i>Adición de Partículas Cerámicas a una Matriz Metal Fundida.</i>	12
2.2.5. <i>Adición de elementos de aleación para promover la capacidad de humectación.</i>	13
2.3. Desgaste.....	13
2.3.1. <i>Desgaste en piezas mecánicas</i>	14
2.3.2. <i>Indicador de desgaste gravimétrico</i>	14
2.3.3. <i>Ensayos de desgaste</i>	15
2.4. Máquina de ensayos de cilindros cruzados.....	17
3. DESCRIPCION DEL PROCESO DE FUNDICION Y ESPECIFICACIONES DE ELEMENTOS ALEANTES	
3.1. Fundición de la aleación ZA27.....	19
3.2. Reforzamiento con partículas cerámicas.....	21
3.3. Reforzamiento de la aleación ZA 27con partículas de Carburo de Silicio.....	23
3.3.1. <i>Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 25 µm de tamaño.</i>	24
3.3.2. <i>Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 25 µm de tamaño.</i>	25
3.3.3. <i>Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 25 µm de tamaño.</i>	25
3.3.4. <i>Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 102 µm de tamaño.</i>	27
3.3.5. <i>Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 102 µm de tamaño.</i>	27
3.3.6. <i>Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 102 µm de tamaño.</i>	27
3.4. Reforzamiento de la aleación ZA 27con partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃).....	28
3.4.1. <i>Reforzamiento de la aleación ZA27con 3% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) gruesa</i>	29
3.4.2. <i>Reforzamiento de la aleación ZA27con 6% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) gruesa.</i>	30
3.4.3. <i>Reforzamiento de la aleación ZA27con 9% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) gruesa.</i>	30
3.4.4. <i>Reforzamiento de la aleación ZA27con 6% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) fina.</i>	32
3.4.5. <i>Reforzamiento de la aleación ZA27con 6% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) fina.</i>	32
3.4.6. <i>Reforzamiento de la aleación ZA27con 9% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) fina</i>	32

3.5.	Reforzamiento de la aleación ZA 27 con partículas de cuarzo de 102um.....	33
3.5.1.	<i>Reforzamiento de la aleación ZA 27 con 3% de partículas de cuarzo de 120 μm.</i>	34
3.5.2.	<i>Reforzamiento de la aleación ZA 27 con 6% de partículas de cuarzo de 120 μm.</i>	35
3.5.3.	<i>Reforzamiento de la aleación ZA 27 con 9% de partículas de cuarzo de 120 μm.</i>	35
4.	EXPERIMENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.	
4.1.	Caracterización de la fundición ZA27.	37
4.2.	Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con SiC.	39
4.2.1.	<i>Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con partículas de SiC de un tamaño de 102 μm.</i>	40
4.2.1.1.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 102μm.</i>	40
4.2.1.2.	<i>ZA 27 reforzada con 6 % de partículas de SiC de 102μm.</i>	41
4.2.1.3.	<i>ZA27 reforzada con 9 % de partículas de SiC de 102μm.</i>	42
4.2.2.	<i>Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con partículas de SiC de un tamaño de 25 μm.</i>	43
4.2.2.1.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 25μm.</i>	43
4.2.2.2.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 25μm.</i>	44
4.2.2.3.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 25μm.</i>	44
4.3.	Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con partículas de Al ₂ O ₃ gruesa.	45
4.3.1.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Al₂O₃ gruesa.</i>	46
4.3.2.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Al₂O₃ gruesa.</i>	46
4.3.3.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Al₂O₃ gruesa.</i>	47
4.4.	Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con partículas de Al ₂ O ₃ fina.	48
4.4.1.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Al₂O₃ fina.</i>	49
4.4.2.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Al₂O₃ fina.</i>	49
4.4.3.	<i>Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Al₂O₃ fina.</i>	50
4.5.	Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con cuarzo.	51
4.6.	Análisis de durezas	54
4.7.	Ensayo de impacto Charpy	55
4.8.	Ensayos de desgaste.	57
4.8.1.	<i>Procedimiento.</i>	57
4.8.2.	<i>Recolección de datos y cálculos.</i>	58
4.8.3.	<i>Análisis de resultado</i>	66
4.9.	Ensayos de resistencia mecánica en probetas cilíndricas	69
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1.	Conclusiones	70
5.2.	Recomendaciones.....	72

BIBLIOGRAFIA

LISTA DE TABLAS

1	Propiedades Mecánicas de varias aleaciones.....	6
2	Propiedades carburo de silicio	8
3	Propiedades de la alúmina	10
4	Propiedades del cuarzo.....	10
5	Angulo de contacto entre el Aluminio Fundido y varios cerámicos.....	12
6	Parámetros y condiciones de Mezclado para la aleación ZA 27 Reforzado con 3% de partículas de SiC de 25 um.....	24
7	Parámetros y condiciones de Mezclado para la aleación ZA 27 Reforzado con 6% de partículas de SiC de 25 um.....	25
8	Parámetros y condiciones de Mezclado para la aleación ZA 27 Reforzado con 9% de partículas de SiC de 25 um.....	25
9	Parámetros y Condiciones de la aleación ZA 27 Reforzado con 3% de partículas de SiC de 102 um.	26
10	Parámetros y Condiciones de la aleación ZA 27 Reforzado con 6% de partículas de SiC de 102 um.	27
11	Parámetros y Condiciones de la aleación ZA 27 Reforzado con 9% de partículas de SiC de 102 um.	27
12	Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27con 3% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) gruesa	29
13	Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27con 6% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) gruesa.....	30
14	Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27con 9% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) gruesa.....	30
15	Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27con 3% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) fina	31
16	Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27con 6% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) fina	32
17	Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27con 9% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) fina	32
18	Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA 27 con 3% de partículas de cuarzo de 120 µm.....	34
19	Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA 27 con 6% de partículas de cuarzo de 120 µm.....	35
20	Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA 27 con 9% de partículas de cuarzo de 120 µm.....	35
21	Espectrometría Aleación ZA 27.....	38
22	Espectrometría ZA 27 (fase η)	39
23	Espectrometría ZA 27 (fase α)	40
24	Espectrometría ZA 27 (Partícula de SiC))	40
25	Durezas Brinell (HB) obtenidas de aleaciones ZA 27 reforzadas con partículas cerámicas.....	54
26	Resultados de ensayos Charpy para las diferentes aleaciones ZA reforzadas con partículas cerámicas.....	56
27	Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27.	58
28	Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas SiC de 102 um.	58

29	Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas de alúmina fina.	59
30	Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas de SiC de 25 um.	60
31	Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas de alúmina gruesa.	61
32	Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas de Cuarzo.	62
33	Resultados obtenidos en el ensayo de desgaste	66
34	Resistencia mecánica de la aleación ZA 27	69

LISTA DE FIGURAS

1	Diagrama de fases Zn-Al (0-40% Al)	5
2	Microestructura ZA 27 reforzado con partículas de SiC a 100X	9
3	Microestructura ZA 27 reforzado con partículas de SiC a 500x.....	9
4	Angulo de contacto entre una gota líquida y un sustrato sólido.....	11
5	Proceso de deformación plástica de las asperezas (arrugado y engrane).....	14
6	Método Bloque sobre disco.....	16
7	Método de cilindros cruzados.....	16
8	Método Pin-on-disc.....	17
9	Máquina de desgaste	17
10	Balanza Digital con precisión de 0,1 mg.....	18
11	Sistema de fundición con Horno con quemador de GLP	19
12	Crisol de 6 puntos.....	19
13	Molde de arena.....	20
14	Molde metálico precalentado	20
15	Adición de partículas a la fundición ZA 27 con generación de vórtice	21
16	Fundición de ZA 27 con presencia de aglomeraciones y porosidad.....	22
17	Fundiciones de ZA27 en molde de hierro fundido reforzado con partículas cerámicas.....	22
18	Microestructura a 100x de la Aleación ZA27 reforzado con 3% de partículas de SiC de 25 um.....	24
19	Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 6% de partículas de SiC de 25 um.....	25
20	Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 9% de partículas de SiC de 25 um.....	26
21	Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 3% de partículas de SiC de 102 um.....	26
22	Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 6% de partículas de SiC de 102 um.....	27
23	Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 9% de partículas de SiC de 102 um.....	28
24	Microestructura a 100x de la aleación ZA27con 3% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) gruesa.....	29
25	Microestructura a 100x de la aleación ZA27con 6% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) gruesa.....	30
26	Microestructura a 100x de la aleación ZA27con 9% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) gruesa.....	31
27	Microestructura a 100x de la aleación ZA27con 3% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) fina.....	31
28	Microestructura a 100x de la aleación ZA27con 6% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) fina	32
29	Microestructura a 100x de la aleación ZA27con 9% de partículas de Alúmina (Al ₂ O ₃) fina	33
30	Microestructura 100x de la aleación ZA 27 con 3% de partículas de cuarzo de 120 μm.....	34

31	Microestructura 100x de la aleación ZA 27 con 6% de partículas de cuarzo de 120 μm	35
32	Microestructura 100x de la aleación ZA 27 con 9% de partículas de cuarzo de 120 μm	36
33	Microestructura ZA 27 atacada con Palmerton a 100x	37
34	Microestructura de aleación ZA27 atacada con Palmerton a 500x (descripción de fases presentes)	37
35	Microestructura de la aleación ZA 27 (SEM 53x)	38
36	Microestructura de la aleación ZA 27 (SEM 3500X).....	38
37	Microestructura de aleación ZA 27 con partículas de SiC de 25 μm (SEM 893X)	39
38	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 102 μm (atacada químicamente con Palmerton).....	40
39	Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 102 μm (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen).....	41
40	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6 % de partículas de SiC de 102 μm (atacada químicamente con Palmerton).....	41
41	Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 102 μm (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)	42
42	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 102 μm (atacada químicamente con Palmerton).....	42
43	Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 102 μm (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)	42
44	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 25 μm (atacada químicamente con Palmerton).....	43
45	Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 25 μm (Concentración de partículas mediante análisis de imagen).....	43
46	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 25 μm (atacada químicamente con Palmerton).....	44
47	Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 25 μm (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)	44
48	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 25 μm (atacada químicamente con Palmerton).....	45
49	Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 25 μm (Concentración de partículas mediante análisis de imagen).....	45
50	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Alúmina gruesa (atacada químicamente con Palmerton).....	46
51	Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Alúmina Gruesa (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)	46
52	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Alúmina gruesa (atacada químicamente con Palmerton).....	47
53	Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Alúmina Gruesa (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)	47
54	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Alúmina gruesa (atacada químicamente con Palmerton).....	48
55	Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Alúmina Gruesa (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)	48

56	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Alúmina fina (atacada químicamente con Palmerton).....	49
57	Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Alúmina fina (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen).....	49
58	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Alúmina fina (atacada químicamente con Palmerton).....	50
59	Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Alúmina (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen).....	50
60	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Alúmina fina (atacada químicamente con Palmerton).....	51
61	Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Alúmina fina (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen).....	51
62	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Cuarzo (atacada químicamente con Palmerton)	52
63	Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Cuarzo (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen).....	52
64	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Cuarzo (atacada químicamente con Palmerton)	53
65	Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Cuarzo (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen).....	53
66	Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Cuarzo (atacada químicamente con Palmerton)	54
67	Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Cuarzo (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen).....	54
68	Durezas Brinell (HB) obtenidas de aleaciones ZA 27 reforzadas con partículas cerámicas.....	55
69	Probeta Charpy estándar	56
70	Medidas de una probeta charpy.....	56
71	Intensidad gravimétrica de desgaste	66
72	Intensidad gravimétrica de desgaste (grafica de barras)	67
73	Razón de desgaste.....	68
74	Razón de desgaste (grafica de barras).....	68

LISTA DE SÍMBOLOS

SiC	Carburo de Silicio
Al ₂ O ₃	Alúmina
Y _{sv}	Energía específica de la interfaz vapor-sólido
Y _{sl}	Energía específica de la interfaz líquido- sólido
Y _{lv}	Energía específica de la interfaz líquido- vapor
W _a	Trabajo de adhesión
B ₄ C	Carburo de boro cúbico
W _g	Desgaste por diferencia de peso
An	área normal de la superficie de contacto
γ	peso específico del material
S	Recorrido de fricción en Km
μ ₂	coeficientes de Poisson
I _g	Intensidad gravimétrica de desgaste

ABREVIATURAS

ZA	Aleación Zinc Aluminio
ZAMAK	Aleación de Zinc Aluminio Magnesio Cobre
ASTM	Sociedad Americana para Ensayo de Materiales.

RESUMEN

Los compuestos de matriz metálica (MMCs) reforzados con partículas cerámicas ofrecen buenas propiedades mecánicas y de resistencia al desgaste. En el presente trabajo se establece el proceso de obtención de Aleaciones de base Zinc con 27 % Aluminio (ZA27) y aleaciones ZA 27 con refuerzos de partículas cerámicas de Carburo de Silicio, Alúmina y Cuarzo las cuales fueron obtenidas fundiendo los materiales base en un horno de crisol de 6 puntos con quemador de gas licuado de petróleo (glp). Una vez obtenida la aleación líquida, se generó un vórtice usando un disco ranurado girando a 3 000 rpm. En esta condición, se incorporó magnesio a la aleación como agente tenso-activo y humectante con el fin de permitir que las partículas cerámicas se queden en suspensión dentro del metal líquido durante la solidificación.

Las muestras de la aleación ZA 27 fueron atacadas químicamente usando el reactivo Palmerton para luego ser analizadas. La microestructura del metal base muestra una estructura dendrítica formada por dendritas primarias β ricas en aluminio rodeadas por un eutectoide $\gamma+\beta$ y una fase meta estable α en la zona interdendrítica, además de una fase residual β rica en zinc.

Se observó que la inclusión de partículas cerámicas a la matriz metálica mejoró las propiedades anti desgaste y de dureza pero, se observó una importante reducción de su resistencia al impacto. La aleación ZA 27 reforzada con partículas de Carburo de Silicio de 102 μm resultó ser la que produjo la más alta dureza de 131 HB y la menor tasa de desgaste, la que se reduce hasta en una quinta parte en comparación a metal sin refuerzos.

ABSTRACT

The metal matrix composites (MMC) reinforced with ceramic particles provide good mechanical and wear resistance properties. In this paper the process of obtaining alloys based Zinc is set with 27% Aluminum (ZA27) and alloys ZA 27 reinforced with ceramic particles of silicon carbide, alumina and quartz which were obtained by melting the base materials in a crucible furnace burner of 6 points with liquefied petroleum gas (LPG) in which a vortex at 3000 rpm to add magnesium proceeding as wetting surfactant and then reinforcements ceramic particles was generated.

ZA 27 alloys were attacked with chemical reagent Palmerton to be analyzed then. The microstructure of the base metal shows γ dendritic structure comprised of primary dendrites β rich in aluminum surrounded by a eutectoid $\gamma+\beta$ and a meta stable phase α in the interdendritic zone, and a residual β phase rich in zinc.

It is noted that the inclusion of ceramic particles to matrix metal improved antiwear properties and hardness but conversely it affected impact resistance being ZA27 alloy reinforced with particles of silicon carbide of 102 μm the most representative because of its HB 131 high hardness and low wear rate that is reduced to one fifth compared to metal without reinforcements.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las aleaciones de Zinc-Aluminio con contenidos del 8 al 50 % de Aluminio fueron desarrolladas a partir 1970 por las compañías productoras de Zinc. Debido a sus excelentes propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y la resistencia al desgaste, estas aleaciones son una alternativa a las fundiciones, hierros maleables y bronce para la fabricación de elementos sometidos a fricción. (Microestructura, estabilidad dimensional y comportamiento al desgaste de aleaciones zinc aluminio/SiC (MMC), Agosto 2000).

El aumento de la demanda de productos fabricados con materiales más ligeros y más resistentes ha crecido en los últimos años (Dry Sliding Wear Behaviour of Garnet Particles Reinforced Zinc-Aluminium Alloy Metal Matrix Composites, 2006), por ello se ha visto un desarrollo en la investigación de materiales metal-cerámicos debido a sus excelentes propiedades mecánicas y tribológicas. (Schmid).

Varias de estas investigaciones se han realizado tomando como base las fundiciones de zinc con varios porcentajes de aluminio, de los cuales los más atractivos resultaron ser 8% 12% y 27% por sus mejores propiedades de dureza, resistencia al desgaste y terminación superficial, que pueden llegar a sustituir aleaciones de zinc que se han venido utilizando anteriormente en la industria. (Mechanical Properties of As-Cast ZA27/Gr/SiCp Hybrid Composite for the Application of Journal Bearing., 2013), (Desgaste por deslizamiento lubricado en Zn-27 % wt. Al.Efecto de distintos refuerzos., 2001).

De estas aleaciones la ZA 27 (aleación de zinc con 27 % de aluminio), además de ser la más liviana hasta en un 25% respecto a las aleaciones de Zamak y ZA, es la que ha mostrado mayor resistencia entre todas las aleaciones de Zinc, tanto colada por gravedad, como en arena o coquilla, como también por inyección por cámara fría. Lo que la hace diferente a otras aleaciones es la excelente resistencia al desgaste por el uso (Grupo Industrial C&C - Oxido Metal S.A.), haciéndola muy competitiva comercialmente.

En el año 2000 la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE (Argentina) en las Jornadas SAM presenta la obtención de aleaciones ZA27 con partículas de SiC obteniendo una estructura dendrítica, consistentes de dendritas primarias ricas en aluminio y rodeadas por una lámina eutectoide $\alpha+\eta$ de estructura rica en zinc, las cuales presentan tasas de desgaste inferiores a la aleación sin partículas de refuerzo para porcentajes de adición del 8% y 15%. (Microestructura, estabilidad dimensional y comportamiento al desgaste de aleaciones zinc aluminio/SiC (MMC), Agosto 2000).

El grupo de investigadores del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) obtuvo mejores propiedades de los compuestos de la aleación de zinc-aluminio con la adición de las fibras de Al_2O_3 . (Alloy Composites Reinforced wit Al_2O_3 Particles).

La contribución al desarrollo de compuestos con el zinc - aleaciones - sustrato también fue proporcionada por el grupo de investigadores de Israel (Israel Instituto de Metales, Haifa), que estableció mejora significativa de la resistencia al desgaste de compuestos con sustrato hechos de la aleación de zinc con el 27% en masa de aluminio , así como investigadores de Singapur (Departamento de Ingeniería Mecánica , Singapur) que introdujeron nuevos refuerzos en el sustrato de la misma aleación (vidrio , Zr_2O_3 y grafito). (Alloy Composites Reinforced wit Al_2O_3 Particles).

1.2. Justificación

El desgaste es una consecuencia natural del uso en la mayoría de las instalaciones y maquinarias, normalmente es un proceso lento y progresivo que puede convertirse en un problema. Debido a esto las industrias se han encaminado en el uso de bronce, hierros maleables, latones y aleaciones de acero para reducir este problema con costos significativos.

En consecuencia, se ve la necesidad de fabricar aleaciones que muestren mejores propiedades mecánicas, resistencia al desgaste, sean más livianas, con menores costos y de gran durabilidad, destacándose entre estas las aleaciones ZA siendo la más representativa la ZA 27, tanto por sus propiedades como también por su precio que resulta muy competitivo si se compara con el correspondiente a las aleaciones que tradicionalmente se han estado usando para similares propósitos.

El propósito de la presente investigación es estudiar el efecto de la adición de partículas cerámicas sobre las propiedades de las aleaciones ZA 27.

A pesar de que existen investigaciones y artículos relacionados con el tema, la información obtenida es limitada, por lo que se busca realizar estudios sobre el efecto de la adición de partículas nuevas como el cuarzo, y realizar variaciones de las cantidades y tamaños de los refuerzos cerámicos ya estudiados como SiC y Al₂O₃, esperando que las ventajas y aplicaciones se incrementen, en especial su resistencia al desgaste, además de dejar como aporte el método de obtención de las diferentes aleaciones.

En pruebas realizadas en algunas de estas aleaciones sugieren su aplicación para la industria automovilística como cojinetes de motor, pistones, anillos de pistón y camisas de cilindros (Wear Behaviour of Hybrid ZA27/SiC/Graphite Composites, 2013) así como también paracomponentes de transmisión de vehículos y sistemas de suspensión, (Microestructura, estabilidad dimensional y comportamiento al desgaste de aleaciones zinc aluminio/SiC (MMC), Agosto 2000), en la industria aeroespacial en álabes de ventilador de motores jet y componentes del tren de aterrizaje de aviones, en la industria de generación de energía se puede utilizar como núcleo de cableado de líneas eléctricas y para diversas maquinarias puede ser aplicada en la elaboración de cojinetes con el fin de que exista una mejor diseminación de calor y mayor durabilidad de la pieza. (SRIMANT, 2012).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. *Objetivo general.* Obtener una aleación zinc Aluminio 27 reforzado con partículas cerámicas.

1.3.2. *Objetivos específicos.*

- Preparar la aleación de Zinc-Aluminio con varios porcentajes de partículas cerámicas de cuarzo, SiC y Al₂O₃.
- Analizar las propiedades metalográficas y mecánicas de la aleación para varios porcentajes en peso de las partículas de cuarzo, SiC y Al₂O₃.
- Realizar pruebas de resistencia al desgaste de la aleación.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

Se conoce como aleación a la mezcla homogénea entre dos o más metales, o de uno o más metales con un elemento no metálico.

Es poco común encontrar aleaciones en estado natural, generalmente se las obtienen llevándolas a temperaturas superiores a las de fusión, logrando una mezcla homogénea y posteriormente se reduce la temperatura hasta que solidifican de nuevo.

Las aleaciones no tienen una temperatura de fusión única, dependiendo de la concentración, cada metal puro funde a una temperatura específica, coexistiendo simultáneamente la fase líquida y fase sólida. Hay ciertas concentraciones específicas de cada aleación para las cuales la temperatura de fusión se unifica. Esa concentración y la aleación obtenida reciben el nombre de eutéctica, y presenta un punto de fusión más bajo que los puntos de fusión de los componentes. (Ecuared).

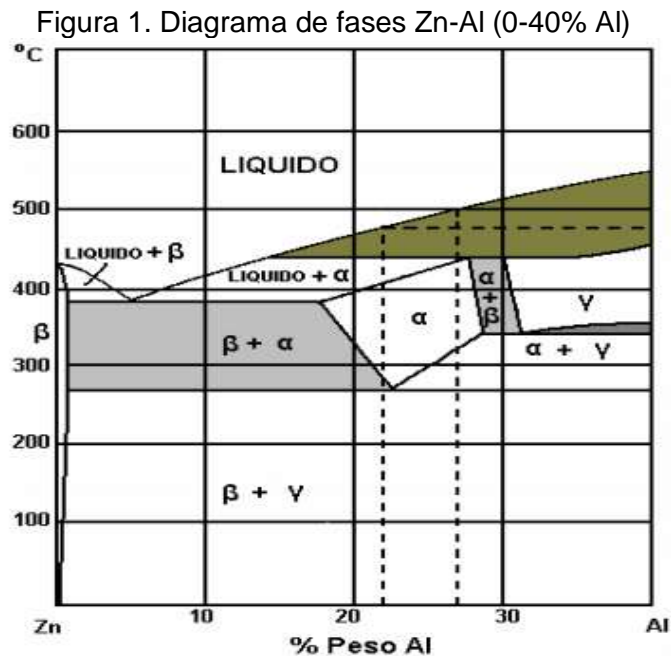
2.1. Aleaciones de zinc

El zinc es el cuarto metal más usado del mundo. (MOTT, 2006). El uso principal es como recubrimiento para el acero a fin de evitar la corrosión. Actuando como ánodo de sacrificio protegiendo al acero de cualquier ataque químico. El Zn puro tiene una temperatura de recristalización inferior a la ambiente, de modo que se “auto recuece” y no puede endurecerse por trabajo a temperatura ambiente.

Las aleaciones base zinc pertenecen a un grupo de aleaciones de bajo punto de fusión, tienen buena fluidez y resistencia para aplicaciones estructurales. (SCHMID) Adicionalmente, se usan en piezas coladas y en materiales de cojinetes. (MOTT, 2006).

2.1.1. Aleaciones ZA. Las aleaciones de Zn-Al empezaron a tener aceptación en la industria metal mecánica a finales del siglo veinte, en la década de los 70. La International Lead and Zinc Research Organization introdujo al mercado aleaciones de zinc con alto contenido de aluminio. (Corrosión de la Aleación zinalco en la atmósfera de fluor., 1997).

Las aleaciones Zn-Al requieren relativamente bajo calor de fusión, no requieren de fundentes ni de atmósferas protectoras y no generan contaminación ambiental. Gracias a su gran fluidez pueden fundirse en espesores delgados por inyección, con tolerancias dimensionales más ajustadas. La rápida velocidad de enfriamiento otorga a las aleaciones poca susceptibilidad al deterioro (Aleaciones Base Zinc como materiales alternativos para la fundición, 1993). La Figura 1 muestra la temperatura de fusión y cambios de fase de la aleación de zinc para porcentajes de aluminio hasta 40 %.



Fuente: (Tratamientos térmicos aplicables a las aleaciones hipereutectoides zinc - aluminio con un 22 - 27% de aluminio, 2007)

Entre las aleaciones base zinc uno de los materiales de mayor aceptación en la industria es el zamak, que contiene una base zinc con adiciones de aluminio, magnesio y cobre, con buenas características mecánicas y anticorrosivas, (DeGARMO, y otros, 2002). Sin embargo con el surgimiento de nuevas aleaciones de zinc con alto contenido de aluminio como las ZA8, ZA12 y ZA27 y sus excelentes características de resistencia mecánica, resistencia al desgaste y dureza como se muestra en la Tabla 1, se reaviva el interés por este tipo de aleaciones (Zn-Al).

La Tabla 1 permite comparar las propiedades de la aleación ZA27 con otras aleaciones de uso tradicional tales como bronce, fierros fundidos y zamak. La resistencia mecánica de esta aleación es superior a las otras aleaciones, siendo su dureza inferior a las de los fierros fundidos. Estas características resultan más atractivas si consideramos que su densidad es apenas 5 g/cm³.

Tabla 1. Propiedades Mecánicas de varias aleaciones

Propiedades Mecánicas	Aleación											
	Zamak		ZA			hierro fundido gris		hierro fundido maleable		Bronce		
	Zamak 3	Zamak 5	ZA8	ZA12	ZA27	clase 20	clase 25	B 30-06	B 32-12	Bronce 2B82	Pb2 - C	B. al plomo LB3
Resistencia a la tracción [MPa]	283	328	263	317	160	151	213	300 máx.	320 máx.	247	262	185
Dureza Brinell	82	91	85 – 90	89 - 105	110 - 120	120 - 187	170 - 229	150 máx.	150 máx.	100	90	60 - 70
Resistencia al impacto "Charpy" [J]	58	65	20	25	5	-	-	-	-	1,5	3	1,5
elongación	10	7	1 a 2	1 a 3	3 a 6	-	-	6	12	-	-	-
Densidad [g/cm ³]	6,7	6,71	6,3	6,5	5	7 - 7,2	7,2	7,9	7,8	8,7	8,7	8,9

Fuente: (Grupo Industrial C&C - Oxido Metal S.A.)

Comparando las características de las aleaciones de la familia del Zamak, bronce, hierro fundido y aleaciones de aluminio, con las aleaciones tipo ZA se puede observar que constituyen una excelente alternativa a las aleaciones clásicas para moldeo de aluminio, bronce y fundición de hierro. (DeGARMO, y otros, 2002).

2.1.2. Aleaciones ZA27. De las aleaciones Zn-Al, la ZA27 es la de mayor resistencia mecánica como se pudo observar en la Tabla 1. Es además la más liviana de las aleaciones de zinc y tiene excelente resistencia al desgaste por el uso, sin embargo requiere especial atención durante la fusión y el colado para poder asegurar estructuras internas sanas, particularmente en secciones de paredes gruesas.

También requiere una estabilización por tratamiento térmico si se requieren tolerancias dimensionales estrictas. Cuando existen altas exigencias de resistencia al desgaste y altas propiedades mecánicas, la ZA-27 es elegida por los diseñadores. Esta aleación proporciona sus propiedades óptimas cuando se cuele en arena. Sin embargo, se requiere de cuidado en el diseño del molde al producir piezas grandes y gruesas para asegurar máxima solidez y mínima presencia de rechupe invertido. (Grupo Industrial C&C - Oxido Metal S.A.).

En una pieza fundida y sólida la ductilidad y la resistencia al impacto son más altas que en las otras dos aleaciones ZA. (Aleaciones Base Zinc como materiales alternativos para la fundición, 1993).

Debido a la excelente resistencia al desgaste de la aleación ZA27 se han realizado estudios en base a la adición de partículas cerámicas que pretenden mejorar aún más esta característica.

2.2. Refuerzo con partículas Cerámicas

Los materiales compuestos son aquellos formados por la mezcla de dos o más materiales de distintos grupos (metálicos, polímeros y cerámicos), para obtener propiedades que no se encuentran en ninguno de los materiales en forma individual. (SCHMID).

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

Generalmente los materiales de refuerzo son resistentes, con baja densidad en ciertos compuestos mientras que la matriz suele ser un material dúctil o tenaz (DeGARMO, y otros, 2002).

Entre otro tipo de refuerzos atractivos están las partículas cerámicas las cuales poseen resistencia a altas temperaturas y durezas extremadamente altas como lo son las partículas de SiC, Alúmina, Carburo de boro cubico entre otros. (Microestructura, estabilidad dimensional y comportamiento al desgaste de aleaciones zinc aluminio/SiC (MMC), Agosto 2000).

2.2.1. Carburo de Silicio. El Carburo de Silicio es un material con una dureza de 9 a 9,5 en la escala de Mohs, utilizado como abrasivo para cortar, molturar o pulir.

En la actualidad es apreciado como un material adecuado para aplicaciones estructurales por sus características de dureza, resistencia a altas temperaturas, alta conductividad térmica, bajo coeficiente de expansión térmica y una buena resistencia al desgaste y a la abrasión. (PRESAS, 2003 - 2004). La Tabla 2 muestra las características del carburo de silicio.

Tabla 2. Propiedades carburo de silicio

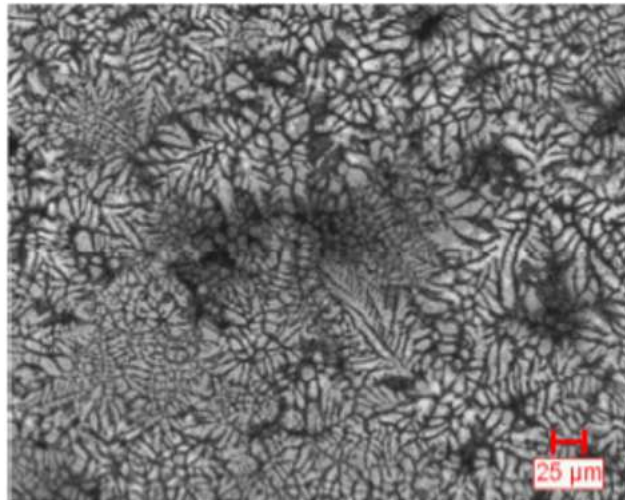
Propiedades	
Fórmula	SiC
Densidad	3,2 g/cm ³
Punto de fusión	2 730 °C
Dureza (Escala de Mohs)	9,5
Módulo de tracción	410 [GPa]
Resistencia mecánica a la compresión	2 000 – 3 500 [MPa]

Fuente: Autores

Los pocos estudios acerca de las propiedades de las aleaciones ZA reforzadas con partículas cerámicas muestran que la adición de partículas de SiC mejora las propiedades al desgaste de estas aleaciones. (Microestructura, estabilidad dimensional y comportamiento al desgaste de aleaciones zinc aluminio/SiC (MMC), Agosto 2000).

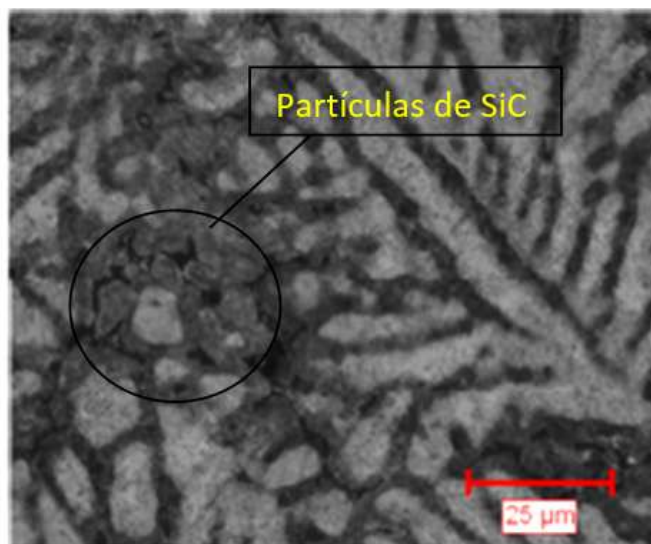
Se han realizado investigaciones añadiendo distintas cantidades de estas partículas de refuerzo al 3%, 6% y 9% en peso obteniendo una microestructura con partículas visibles como se puede observar en la Figura 1 y Figura 2 en la cual se observa la matriz Zinc – Aluminio con inclusiones de partículas de SiC.

Figura 2. Microestructura ZA 27 reforzado con partículas de SiC a 100X



Fuente: (Mechanical Properties of As-Cast ZA27/Gr/SiCp Hybrid Composite for the Application of Journal Bearing., 2013)

Figura 3. Microestructura ZA 27 reforzado con partículas de SiC a 500x



Fuente: (Mechanical Properties of As-Cast ZA27/Gr/SiCp Hybrid Composite for the Application of Journal Bearing., 2013)

2.2.2. Alúmina

El óxido de aluminio existe en la naturaleza en forma de corindón, y de esmeril, es un material cerámico muy versátil, sus propiedades la hacen especialmente apta para aplicaciones en donde la temperatura es un factor crítico, además de su relativa facilidad para adaptarse a diversos trabajos y usos.

Su dureza ha permitido darle forma a la industria del abrasivo, que es de las más

antiguas, y rentables. (Ecuared), en la Tabla 3 se muestran las propiedades que presenta la alúmina.

Tabla 3. Propiedades de la alúmina

Propiedad	
Fórmula	Al ₂ O ₃
Densidad	3,96 g/cm ³
Punto de fusión	2 072 °C
Dureza (Escala de Mohs)	9,5
Módulo de tracción	300 - 400 [GPa]
Resistencia mecánica a la compresión	2 200 – 2 600 [MPa]

Fuente: Autores

2.2.3. Cuarzo. El cuarzo es un mineral compuesto de sílice (SiO₂) que se caracteriza por su gran dureza y alto punto de fusión.

Se utiliza como abrasivo bajo el nombre de arena silícea, y se considera el abrasivo más usado por su bajo precio. Se lo emplea en la fabricación de lijas, discos o bloques, y, principalmente, en sistemas de abrasión por medio de un chorro de arena a presión. (Ecuared). En la Tabla 4 se muestran las propiedades del cuarzo.

Tabla 4. Propiedades del cuarzo

Propiedad	
Fórmula	SiO ₂
Densidad	2,65 g/cm ³
Punto de fusión	1 713 °C
Dureza (Escala de Mohs)	7

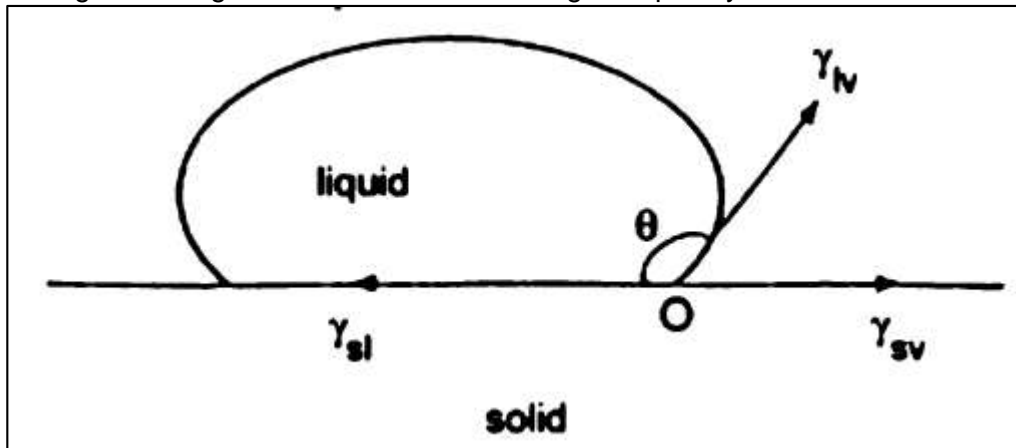
Fuente: Autores

2.2.4. Adición de Partículas Cerámicas a una Matriz Metal Fundida. Para la inclusión de partículas cerámicas en un matriz fundida es necesario determinar varios factores debido a que pueden darse casos de segregación, asentamiento, aglomeraciones entre otros, principalmente se debe conocer el grado de humectabilidad.

La humectabilidad se define como la capacidad de un líquido de difundirse sobre una superficie sólida. Esta puede ser descrita por el ángulo de contacto entre una gota de líquido en reposo sobre un sustrato sólido. (The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, 2001).

El ángulo de contacto se lo determina por la ecuación de Young-Dupre. El ángulo se lo puede apreciar en la Figura 4.

Figura 4. Angulo de contacto entre una gota líquida y un sustrato sólido



Fuente: (The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, 2001)

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (1)$$

Dónde: γ_{sv} es la energía específica de la interfaz vapor-sólido, γ_{sl} la energía específica de la interfaz líquido-vapor también se puede interpretar la energía específica como energía por unidad de área o fuerza de tensión superficial.

Además cuando en un sustrato sólido se pone una gota de líquido, esta reemplazará una parte de la interfaz vapor-sólido mediante una interfaz sólido-líquido y una interfaz líquido-vapor.

La difusión de líquido se producirá sólo si esto resulta en una disminución de la energía libre del sistema denominado trabajo de adhesión W_a tal que:

$$W_a = \gamma_{lv} + \gamma_{sv} - \gamma_{sl} \quad (2)$$

Y combinada con la ecuación de Young-Dupre se obtiene:

$$W_a = \gamma_{lv} (1 + \cos \theta) \quad (3)$$

Técnica de gota sessil

Es una técnica la cual se basa en la medición del trabajo de adhesión en un rango de temperatura de entre 400°C y 2000°C.

La cual consiste en colocar una gota de metal líquido sobre un sustrato sólido la cual se enfría rápidamente tratando de mantener las formas de equilibrio y poder medir los ángulos diedros si estos están entre 90° y 180° se considera una humectación parcial y si es de 180° se considera una humectación completa.

Factores que reducen la humectabilidad; entre los factores que afectan la humectabilidad están la presencia de películas de óxido sobre una superficie de masa fundida que conduce a una disminución de la humectación en las aleaciones fundidas de partículas de refuerzo.

El aluminio y sus aleaciones tienen una gran afinidad con el oxígeno. En estas aleaciones se forma una capa de óxido generalmente desde los 400°C lo que impide el contacto directo entre la matriz metálica y las partículas de SiC.

Además, dicha capa de óxidos está presente y no disminuye hasta los 900°C y llega a medir 50 nm. (The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, 2001).

Otro factor que dificulta la humectabilidad es debido a que los materiales cerámicos tienden a formar una capa de gas en su entorno lo que hace que la partícula no entre en contacto con el material matriz fundido. Cabe decir que cuando se aglomeran varias partículas pueden formar acumulaciones de gases que hace que se segreguen rápidamente.

El ángulo de mojado para algunas partículas cerámicas medido mediante la técnica de gota sessile a varias temperaturas se resume en la Tabla 5. (The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, 2001).

Tabla 5. Angulo de contacto entre el Aluminio Fundido y varios cerámicos

Cerámico	Temperatura [°C]	Angulo [°]
SiC	900	150
	1 100	34
	1 100	42
B ₄ C	900	135
	1 100	120
	1 100	119
Al ₂ O ₃	900	90
	900	120
	1 100	70
	1 100	80
	1 100	83

Fuente: (The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, 2001)

Se muestra que el valor de ángulo de contacto disminuye con el incremento de la temperatura del líquido, es decir, la humectabilidad se mejora a una temperatura más alta, normalmente por encima de 900 °C. (The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, 2001).

2.2.5. Adición de elementos de aleación para promover la capacidad de humectación.

Existen materiales que adicionados a una aleación muestran una excelente unión entre la matriz fundida y los elementos cerámicos debido a que inducen la humectabilidad, como lo son el magnesio, calcio, titanio, circonio que tienden a reducir la tensión superficial de la masa fundida haciendo que decrezca la energía de la interfaz liquido-sólido.

Existen varios tipos de compuestos que contienen aluminio donde se ha adicionado magnesio, de entre otros humectantes siendo este el que mejores resultados ha dado.

En aleaciones que contiene aluminio el porcentaje de magnesio que se debe agregar varía de entre el 0.7 % y 1 % peso y cuando la colada llega a una temperatura de alrededor de los 720 °C principalmente para las partículas cerámicas del carburo de silicio.

El magnesio es un potente eliminador de oxígeno lo que hace que la capa de gas disminuya por lo tanto mejora la humectación y la reducción de la tendencia a la aglomeración.

Además de la adición de elementos aleantes se deben usar medios mecánicos como generación de vórtices, agitación de contenedores de material fundido, moldes centrífugos entre otros, que ayuden a eliminar la capa de gases presentes para un mejor contacto entre las partículas y el metal fundido. (The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, 2001).

2.3. Desgaste

El desgaste puede ser definido como el daño superficial que sufren los materiales después de determinadas condiciones de trabajo a los que son sometidos con disminución de sus dimensiones o pérdidas de masa.

La pérdida de material se da como resultado del proceso de desgaste, la misma que

trae como consecuencia la reducción en las dimensiones.

2.3.1. Desgaste en piezas mecánicas. Las tensiones que se generan en la superficie de contacto y el aumento de temperatura que surge de la fricción en un par tribológico predefinen los mecanismos de agarre superficial: Mecánico, Térmico, Químico, y adhesivo.

- **Agarre mecánico.-** Depende de las deformaciones elasto – plásticas que ocurren en las micro irregularidades en contacto y de la magnitud de las tensiones térmicas.
- **Procesos térmicos.-** Están relacionado con los cambios del estado físico de las fases de los materiales o de sus estructuras debido al calor producido por la fricción.
- **Procesos químicos.-** Se caracterizan por la formación de finas capas superficiales pasivas, como resultado de la interacción de las superficies con medios gaseosos o el medio circundante.
- **Mecanismo adhesivo.-** La atracción molecular produce una unión adhesiva conocida como micro soldadura de las asperezas en contacto como se muestra en la Figura 5. (ÁLVAREZ, 2015).

Figura 5. Proceso de deformación plástica de las asperezas (arrugado y engrane).



Fuente: (ÁLVAREZ, 2015)

2.3.2. Indicador de desgaste gravimétrico. Este indicador de desgaste permite evaluar, estudiar, caracterizar o diagnosticar el desgaste de piezas de pequeñas dimensiones las cuales se pesan antes y después de someterse a esta evaluación. Antes del pesaje las piezas deben ser lavadas y secadas para eliminar partículas, polvos, los productos de desgaste, grasas y otros. El grado de exactitud de este método depende de la exactitud de las balanzas.

Este método no se recomienda en los casos en que las dimensiones de las piezas cambian no solo como resultado del desprendimiento de partículas de la superficie de

los materiales sino también debido a las deformaciones plásticas, así como para la determinación del desgaste de materiales porosos bajo regímenes de fricción lubricada. (ÁLVAREZ, 2015).

La intensidad del desgaste se determina como:

$$I_g = \frac{W_g}{S_f} \quad (4)$$

En la práctica industrial resulta beneficioso transformar el desgaste gravimétrico (pérdida de masa) desgaste lineal (variación de dimensiones).

Lo anterior se basa en el hecho de que en la mayoría de los casos los pares tribológicos están formados por materiales de diferentes pesos específicos.

Por consiguiente la relación entre el indicador gravimétrico y lineal del desgaste se expresa en la ecuación 5. (ÁLVAREZ, 2015).

$$I_g = I_h = \frac{W_g}{A_n \cdot S_f \cdot \gamma \cdot 10^8} \quad (5)$$

Donde:

Wg : desgaste por diferencia de peso (mg)

An : área normal de la superficie de contacto (cm²)

γ: peso específico del material (g/cm³)

S: Recorrido de fricción en Km

Este método de variación de masa es útil en aquellos casos donde el desgaste se da como consecuencia del desprendimiento de partículas.

2.3.3. Ensayos de desgaste. La norma ASTM (American Society for Testing and Materials) es la mayor organización técnica y científica para la aplicación de ensayos y caracterización de materiales, sistemas para el área de metalurgia.

Dentro de la ASTM, las normas que establecen procedimientos para realizar ensayos

de desgaste y fricción son:

- G77-98 Norma para determinar el desgaste por deslizamiento de diversos materiales mediante el sistema de bloque-en-disco. Un espécimen de bloque estacionario se presiona con una fuerza constante contra un espécimen de anillo giratorio con un ángulo de 90° .

La fricción entre las superficies de deslizamiento del bloque y anillo resultados en la pérdida de masa de ambas piezas este proceso se muestra en la Figura 6.

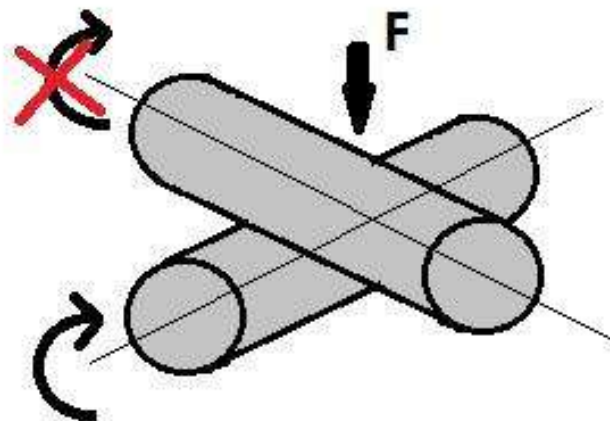
Figura 6. Método Bloque sobre disco



Fuente: Autores

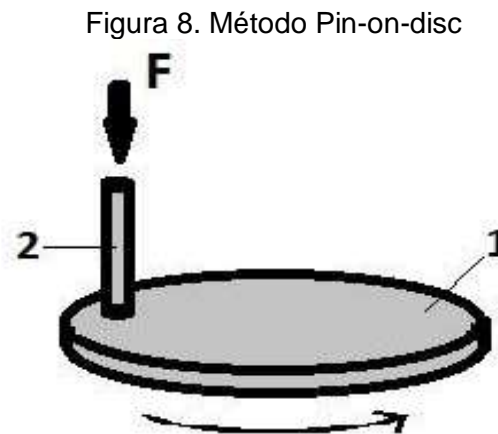
- G83-96 Norma para determinar el desgaste mediante el método de cilindros cruzados como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Método de cilindros cruzados



Fuente: Autores

- G99-95 Norma para determinar el desgaste mediante un ensayo con una máquina pin-on-disk, que consiste en un espécimen que se desliza sobre un disco giratorio como se muestra en la Figura 8.



Fuente: Autores

2.4. Máquina de ensayos de cilindros cruzados

El ensayo tribológico en la máquina de cilindros cruzados basa su procedimiento de operación en la norma ASTM G 83-96 como se muestra en la Figura 9



Fuente: Autores

La prueba se realiza con un cilindro giratorio y uno estacionario orientados perpendicularmente entre sus longitudes, los cuales deben estar en contacto permanente durante la prueba, sometidos a una carga.

La balanza analítica a usarse para la medición de las masas de la probeta antes y después del ensayo y debe tener una sensibilidad de 0,1 mg como se presenta en la Figura 10.

Figura 10. Balanza Digital con precisión de 0,1 mg



Fuente: Autores

Las probetas pueden ser de cualquier material que resista los esfuerzos mecánicos como la flexibilidad cuando se somete a carga. Las probetas deben ser cilíndricas y tener las dimensiones especificadas en la norma:

- 12,7 mm de diámetro
- 102 mm de longitud

La velocidad requerida para la prueba basada en la norma ASTM G 83-96 es de 400 r.p.m. \pm 2%. Y se debe utilizar una carga de trabajo de 71,2 N \pm 3%.

CAPITULO III

3. DESCRIPCION DEL PROCESO DE FUNDICION Y ESPECIFICACIONES DE ELEMENTOS ALEANTES

4.1. Fundición de la aleación ZA27

Para la obtención de la aleación ZA27 se procedió a construir un horno con quemador de GLP y se utilizó un crisol de 6 puntos como se muestra en las Figuras 11 y 12. Los detalles del diseño y construcción están fuera del alcance de este estudio.

Figura 11. Sistema de fundición con Horno con quemador de GLP



Fuente: Autores

Figura 12. Crisol de 6 puntos



Fuente: Autores

Para obtener la aleación ZA con 27 % de aluminio en peso se añadió 2,7 kg de Zinc por cada 1 kg de Aluminio.

Antes de llevar a cabo la fundición se construye un molde en arena de las probetas requeridas. Si se va a colar en molde de coquilla es necesario precalentar el mismo para que no exista choque térmico al momento de colar, los moldes fabricados se pueden observar en las Figuras 13 y 14.

Figura 13. Molde de arena



Fuente: Autores

Figura 14. Molde metálico precalentado



Fuente: Autores

El procedimiento a seguir para realizar la fundición es el siguiente:

- Se calienta el horno con el quemador de GLP por unos 5 minutos antes de aplicar la primera carga de material.
- Se aplica la primera carga, la cual es Aluminio puro hasta llegar a la temperatura de fusión de 660 °C.
- Una vez que la primera carga está completamente fundida se añade una segunda carga, esta es de Zinc puro, el cual tiene una temperatura de fusión de 420 °C.

Cuando ambos elementos están fundidos se lleva el material fundido a una temperatura de colado de 620 °C.

- Se añade fundente para extraer la escoria que se precipitan a la superficie de la colada, en relación de 1 Kg de fundente para 50 Kg de material fundido.
- Se apaga el horno. Se añade 10 g de desgasificante ApartaGas por cada 1 Kg de fundición para reducir la formación de poros que puede darse en la fundición.
- Por último se procede a colar en los respectivos moldes.

3.2. Reforzamiento con partículas cerámicas

Para la inclusión de partículas cerámicas en la aleación se realizaron una serie de pruebas y ensayos tratando de obtener el diseño apropiado de una paleta de acero inoxidable para generar el vórtice requerido y los parámetros y condiciones de colado. Las paletas debía ser adaptadas a un taladro manual para la generación de un vórtice que permita a las partículas incluirse dentro del material fundido. Inicialmente se construyó una paleta de dos álabes verticales de 2,5 cm x 2 cm con la cual se formaba un vórtice que desaparecía al momento de introducir las partículas en la colada, luego se incrementaron a cuatro álabes con medidas de 6 cm x 4 cm generando un vórtice aceptable pero al momento de introducir las partículas estas se segregaban a la superficie, entonces se optó por construir una paleta con un disco de 6 cm de diámetro ubicado horizontalmente en la parte inferior con dos ranuras de 1 cm en los extremos, consiguiendo con esta la generación del vórtice requerido y logrando la inclusión de las partículas en la colada pero al momento de disminuir las revoluciones las partículas se segregaban nuevamente a la superficie. El vórtice generado con la paleta de disco se puede observar en la Figura15.

Figura 15. Adición de partículas a la fundición ZA 27 con generación de vórtice



Fuente: Autores

Al obtener el método de mezclado adecuado pero sin los resultados requeridos se buscaron alternativas variando los parámetros de la colada y las partículas de refuerzo. Se precalentaron las partículas de refuerzo a una temperatura entre 500°C y 550°C y se elevó la temperatura de la colada hasta 820°C para tratar de disminuir la tensión superficial, pero esto trajo efectos negativos como la presencia excesiva de poros y la formación de una capa de óxido en la superficie lo cual provocaba erosión en la paleta y en el crisol. Por lo que se realizó otra prueba bajando la temperatura de la colada en 620°C, vertiendo la fundición en un recipiente de hierro fundido precalentado a 550°C procediendo a mezclar las partículas hasta que se solidifique la fundición consiguiendo la inclusión de las mismas como se muestra en la Figura 15, pero al extraer una probeta se observó una excesiva porosidad y aglomeraciones de partículas como se puede apreciar en la Figura 16, se realizaron varias fundiciones con este procedimiento obteniendo los mismos resultados, las fundiciones obtenidas se muestran en la Figura 17.

Figura 16. Fundición de ZA 27 con presencia de aglomeraciones y porosidad.



Fuente: Autores

Figura 17. Fundiciones de ZA27 en molde de hierro fundido reforzado con partículas cerámicas



Fuente: Autores

Luego de que las pruebas realizadas no dieran los resultados requeridos se investigó más acerca de métodos de inclusión de partículas cerámicas en matriz metal fundida, determinando que la humectabilidad es un factor importante para que las partículas entren en contacto con el metal fundido, el mismo que puede variarse con la adición de magnesio. (The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, 2001).

Manteniendo los parámetros de temperatura, se procede a añadir magnesio a la colada probando con 0,3%, 0,5% y 0,7% consiguiendo con los dos primeros buenos resultados pero no los requeridos debido a que aun se segregan parte de las partículas, pero con este último se observó que no había segregación de las partículas por lo que se determinó que 0,7% es la adición óptima para este tipo de aleación con refuerzo.

Luego de las pruebas realizadas se determina el proceso de fundición y mezclado más óptimo que consiste en precalentar las partículas a 550°C, mantener la temperatura de la colada en 620°C y adicionar el 0,7% de magnesio a la aleación.

3.3. Reforzamiento de la aleación ZA 27 con partículas de Carburo de Silicio (SiC)

Para reforzar la aleación ZA27 con carburo de silicio primero se procede a preparar la colada como se describe en el ítem anterior. Para objeto de investigación se realizan variaciones de los % de adición de las partículas en 3%, 6% y 9% así como también el tamaño de las mismas con 25 µm y 102 µm.

Se prepararon moldes de acero para probetas cilíndricas de 7/8" de diámetro y una longitud de 25 cm.

Usando un termopar se comprobó que la temperatura de la colada esté en 620 °C, luego con la paleta de acero inoxidable y el taladro a 3000 rpm se procede a mezclar hasta formar un vórtice en la colada. Se le añade una parte del magnesio a la colada y el carburo de silicio precalentado a 550 °C, y finalmente el resto del magnesio, se continúa mezclando hasta observar que las partículas estén completamente inmersas en la aleación.

Se vierte la colada en los moldes, debido a que la temperatura al final de la incorporación de las partículas es relativamente baja, se aplica presión para reducir la presencia de poros.

3.3.1. Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 25 μm de tamaño. Al añadir las partículas de SiC a la colada se pudo observar que estas se introducen por completo en el vórtice, y no se precipitan a la superficie.

La Figura 18, 19 y 20 muestran la superficie pulida de la aleación ZA27 reforzada con 3%, 6% y 9% respectivamente de partículas de carburo de silicio de 25 μm . Estas se presentan de color gris oscuro y formas angulares.

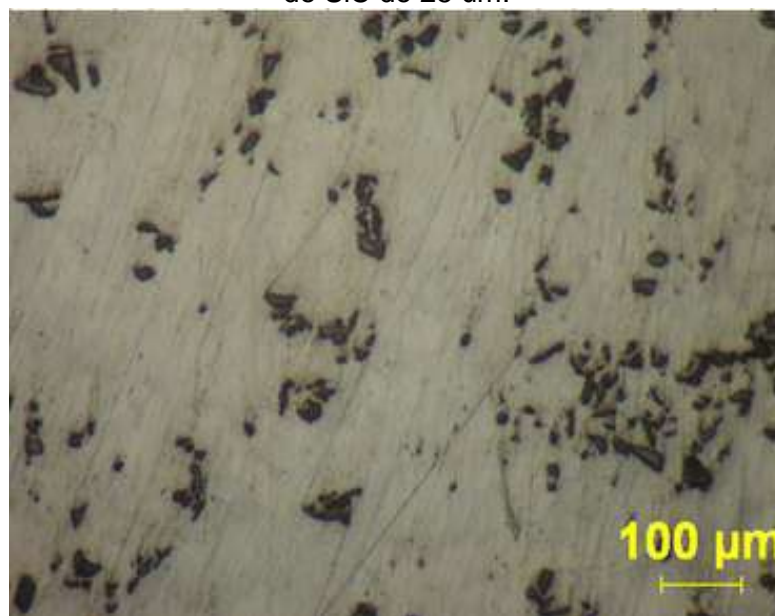
Se observa una buena distribución en la matriz metálica, zona de color gris claro.

Tabla 6. Parámetros y condiciones de Mezclado para la aleación ZA 27 Reforzado con 3% de partículas de SiC de 25 μm .

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T SiC	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,830	96,3
SiC	0,057	3,0
Mg	0,013	0,7
	1,900	100

Fuente: Autores

Figura 18. Microestructura a 100x de la Aleación ZA27 reforzado con 3% de partículas de SiC de 25 μm .



Fuente: Autores

2.3.2. Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 25 μm de tamaño.

Tabla 7. Parámetros y condiciones de Mezclado para la aleación ZA 27 Reforzado con 6% de partículas de SiC de 25 μm .

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T SiC	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,710	93,3
SiC	0,110	6,0
Mg	0,012	0,7
	1,832	100

Fuente: Autores

Figura 19. Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 6% de partículas de SiC de 25 μm .



Fuente: Autores

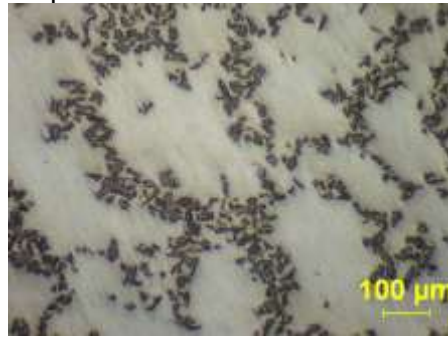
2.3.3. Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 25 μm de tamaño.

Tabla 8. Parámetros y condiciones de Mezclado para la aleación ZA 27 Reforzado con 9% de partículas de SiC de 25 μm .

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T SiC	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,650	90,3
SiC	0,164	9,0
Mg	0,012	0,7
	1,827	100

Fuente: Autores

Figura 20. Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 9% de partículas de SiC de 25 μm .



Fuente: Autores

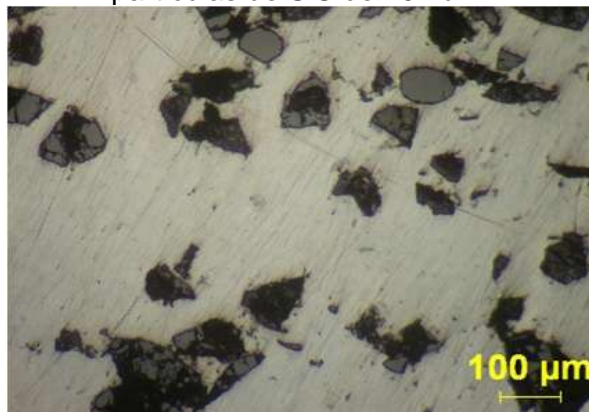
3.3.4. Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 102 μm de tamaño. Al añadir las partículas de SiC a la colada se pudo observar que estas se introducen por completo en el vórtice, y no se precipitan a la superficie. La Figura 21, 22 y 23 muestran la superficie pulida de la aleación ZA27 reforzada con 3%, 6% y 9% respectivamente de partículas de carburo de silicio de 102 μm . Estas se presentan de color gris oscuro y formas angulares. Se observa una buena distribución en la matriz metálica, zona de color gris claro.

Tabla 9. Parámetros y Condiciones de la aleación ZA 27 Reforzado con 3% de partículas de SiC de 102 μm .

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T SiC	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,830	96,3
SiC	0,057	3,0
Mg	0,013	0,7
	1,900	100

Fuente: Autores

Figura 21. Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 3% de partículas de SiC de 102 μm .



Fuente: Autores

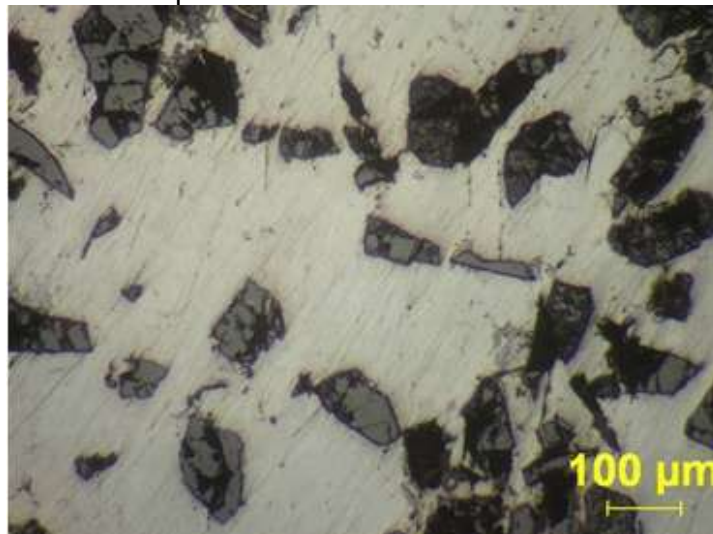
3.3.5. Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 102 μm de tamaño.

Tabla 10. Parámetros y Condiciones de la aleación ZA 27 Reforzado con 6% de partículas de SiC de 102 μm .

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T SiC	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,75 0	93,3
SiC	0,112	6,0
Mg	0,013	0,7
	1,875	100

Fuente: Autores

Figura 22. Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 6% de partículas de SiC de 102 μm .



Fuente: Autores

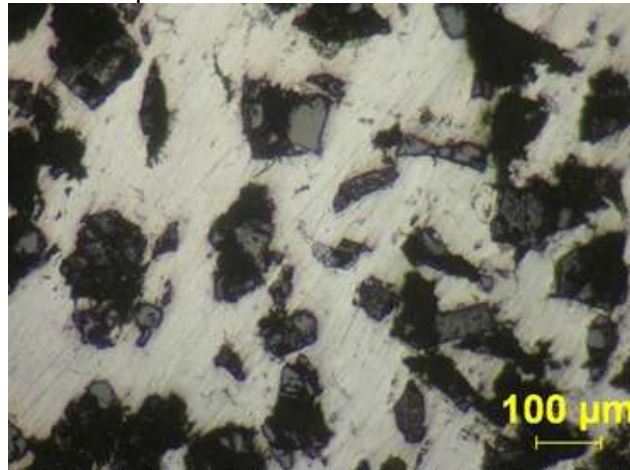
3.3.6. Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 102 μm de tamaño.

Tabla 11. Parámetros y Condiciones de la aleación ZA 27 Reforzado con 9% de partículas de SiC de 102 μm .

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T SiC	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,880	90,3
SiC	0,187	9,0
Mg	0,014	0,7
	2,081	100

Fuente: Autores

Figura 23. Microestructura a 100x de la aleación ZA 27 Reforzado con 9% de partículas de SiC de 102 μm .



Fuente: Autores

3.4. Reforzamiento de la aleación ZA 27 con partículas de Alúmina (Al_2O_3)

Para reforzar la aleación ZA27 con alúmina (Al_2O_3), primero se procede a preparar la colada como se describe en el ítem anterior. Para objeto de la investigación se realizan variaciones de los porcentajes de adición de las partículas en 3%, 6% y 9% así como también el tamaño de las mismas que varían entre 10 μm y 120 μm , Se usaron dos granulometrías de alúmina una con una fracción elevada de partículas finas entre 10 μm y 50 μm , y otra con una fracción dominante de partículas gruesas entre 70 μm y 120 μm con mayor porcentaje de partículas pequeñas y un grupo de alúmina gruesa con mayor porcentaje de partículas grandes.

Se prepararon moldes de acero para la obtención de probetas cilíndricas de 7/8" de diámetro y una longitud de 25 cm.

Usando una termopar se comprobó que la temperatura de la colada esté en 620 $^{\circ}\text{C}$, luego con el disco ranurado de acero inoxidable girando a 3000 rpm se procede a mezclar hasta formar un vórtice en la colada. Se le añade una parte del magnesio a la colada y la alúmina precalentada a 550 $^{\circ}\text{C}$, y finalmente el resto del magnesio, se continúa mezclando hasta observar que las partículas estén completamente inmersas en la aleación.

Se vierte la colada en los moldes, debido a que la temperatura al final de la incorporación de las partículas es relativamente baja, se aplica presión para reducir la presencia de poros.

3.4.1. Reforzamiento de la aleación ZA27 con 3% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) gruesa. Al añadir las partículas de Al_2O_3 a la colada se pudo observar que estas se introducen por completo en el vórtice, y no se precipitan a la superficie. La Figura 24, 25 y 26 muestran la superficie pulida de la aleación ZA27 reforzada con 3%, 6% y 9% respectivamente de partículas de alúmina gruesa. Estas se presentan de color gris oscuro y formas esferoidales.

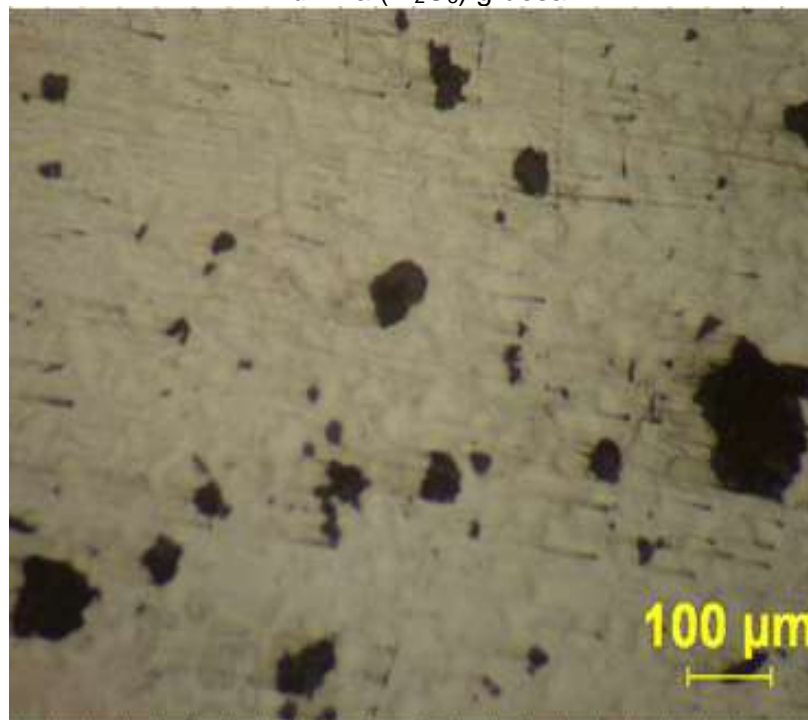
Se observa una buena distribución en la matriz metálica, zona de color gris claro.

Tabla 12. Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27 con 3% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) gruesa

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T Al_2O_3 gruesa	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,650	96,3
Al_2O_3 W1	0,051	3,0
Mg	0,012	0,7
	1,713	100

Fuente: Autores

Figura 24. Microestructura a 100x de la aleación ZA27 con 3% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) gruesa



Fuente: Autores

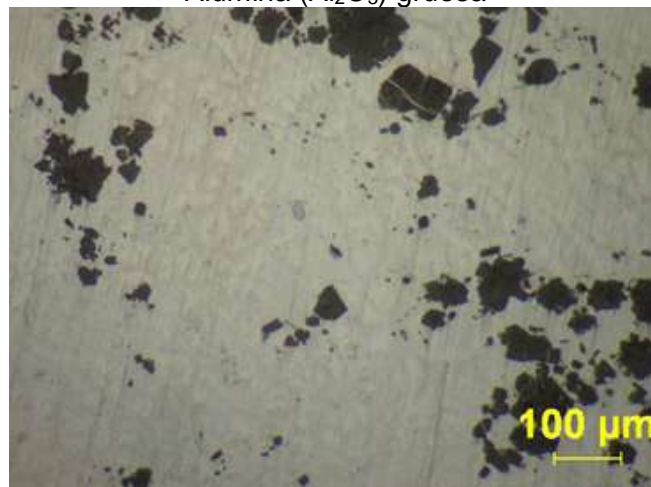
3.4.2. *Reforzamiento de la aleación ZA27 con 6% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) gruesa.*

Tabla 13. Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27 con 6% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) gruesa

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T Al ₂ O ₃ gruesa	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,730	93,3
Al ₂ O ₃ W1	0,111	6,0
Mg	0,012	0,7
	1,853	100

Fuente: Autores

Figura 25. Microestructura a 100x de la aleación ZA27 con 6% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) gruesa



Fuente: Autores

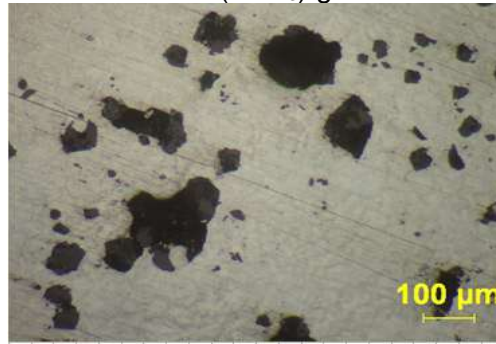
3.4.3. *Reforzamiento de la aleación ZA27 con 9% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) gruesa.*

Tabla 14. Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27 con 9% de partículas de Alúmina (Al₂O₃) gruesa

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T Al ₂ O ₃ gruesa	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,630	90,3
Al ₂ O ₃ W1	0,162	9,0
Mg	0,012	0,7
	1,805	100

Fuente: Autores

Figura 26. Microestructura a 100x de la aleación ZA27 con 9% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) gruesa



Fuente: Autores

3.4.4 Reforzamiento de la aleación ZA27 con 3% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) fina.

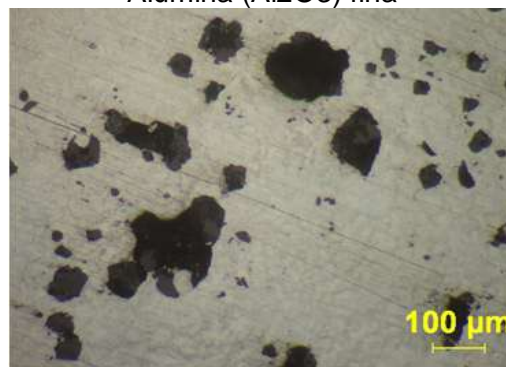
Al añadir las partículas de Al_2O_3 a la colada se pudo observar que estas se introducen por completo en el vórtice, y no se precipitan a la superficie. La Figura 27, 28 y 29 muestran la superficie pulida de la aleación ZA 27 reforzada con 3%, 6% y 9% respectivamente de partículas de alúmina fina. Estas se presentan de color gris oscuro y formas esferoidales. Se observa una buena distribución en la matriz metálica, zona de color gris claro.

Tabla 15. Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27 con 3% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) fina

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T Al_2O_3 fina	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,880	96,3
Al_2O_3 W5	0,058	3,0
Mg	0,013	0,7
	1,952	100

Fuente: Autores

Figura 27. Microestructura a 100x de la aleación ZA27 con 3% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) fina



Fuente: Autores

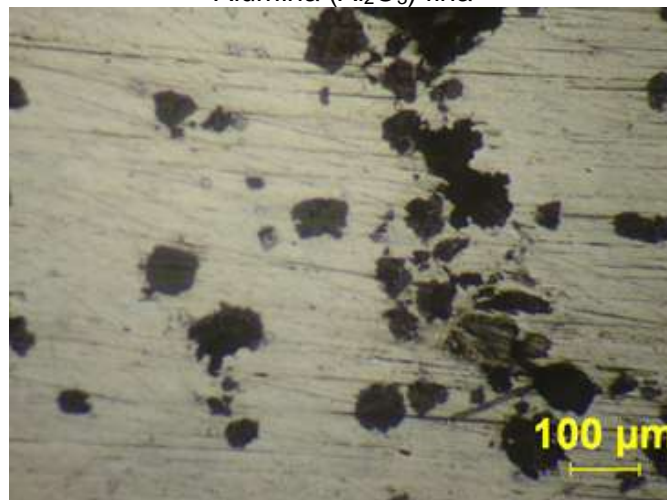
3.4.5. Reforzamiento de la aleación ZA27 con 6% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) fina.

Tabla 16. Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27 con 6% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) fina

Parámetros		Condiciones	
T Colada		620°C	
T Al_2O_3 fina		550 °C	
Tipo de paleta		Disco con ranura	
Velocidad de mezclado		3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]	
ZA27	1,810	93,3	
Al_2O_3 W5	0,116	6,0	
Mg	0,013	0,7	
	1,939	100	

Fuente: Autores

Figura 28. Microestructura a 100x de la aleación ZA27 con 6% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) fina



Fuente: Autores

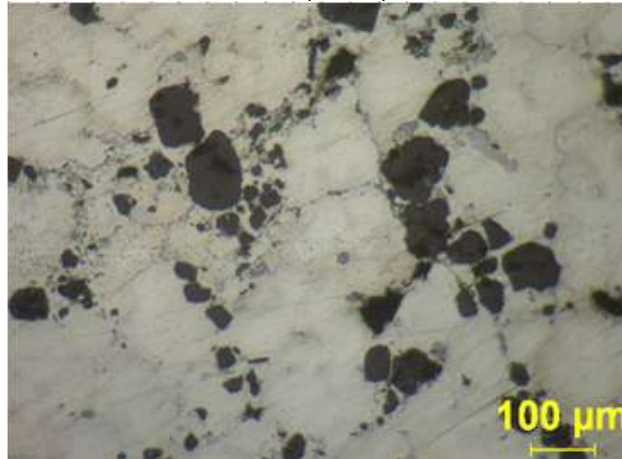
3.4.6. Reforzamiento de la aleación ZA27 con 9% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) fina

Tabla 17. Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA27 con 9% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) fina

Parámetros		Condiciones	
T Colada		620°C	
T Al_2O_3 fina		550 °C	
Tipo de paleta		Disco con ranura	
Velocidad de mezclado		3 000 rpm	
	Masa	Porcentaje en peso [%]	
ZA27	1,640 Kg	90,3	
Al_2O_3 W5	0,163 Kg	9,0	
Mg	0,012 kg	0,7	
	1,815Kg	100	

Fuente: Autores

Figura 29. Microestructura a 100x de la aleación ZA27 con 9% de partículas de Alúmina (Al_2O_3) fina



Fuente: Autores

3.5. Reforzamiento de la aleación ZA 27 con partículas de cuarzo de 102um.

Para reforzar la aleación ZA27 con cuarzo primero se procede a preparar la colada como se describe en el ítem anterior. Para objeto de investigación se realizan variaciones de los % de adición de las partículas en 3%, 6% y 9%.

Las partículas denominadas de cuarzo de 120 micrómetros, en realidad son partículas que pasan la malla de 120 micrómetros.

Se prepararon moldes de acero para probetas cilíndricas de 7/8" de diámetro y una longitud de 25 cm.

Usando un termopar se comprobó que la temperatura de la colada esté en 620 °C, luego con la paleta de acero inoxidable y el taladro a 3 000 rpm se mezcla hasta formar un vórtice en la colada.

Se le añade una parte del magnesio a la colada y el cuarzo precalentado a 550 °C, y finalmente el resto del magnesio.

Se continúa mezclando hasta observar que las partículas estén completamente inmersas en la aleación.

Se vierte la colada en los moldes, debido a que la temperatura al final de la incorporación de las partículas es relativamente baja, se aplica presión para reducir la presencia de poros.

3.5.1. Reforzamiento de la aleación ZA 27 con 3% de partículas de cuarzo de 120 μm . Al añadir las partículas de cuarzo a la colada se pudo observar que estas se introducen por completo en el vórtice, y no se precipitan a la superficie. La Figura 30, 31 y 32 muestran la superficie pulida de la aleación ZA 27 reforzada con 3%, 6% y 9% respectivamente de partículas de cuarzo de 120 μm . Estas se presentan de color gris oscuro y formas angulares y redondeadas.

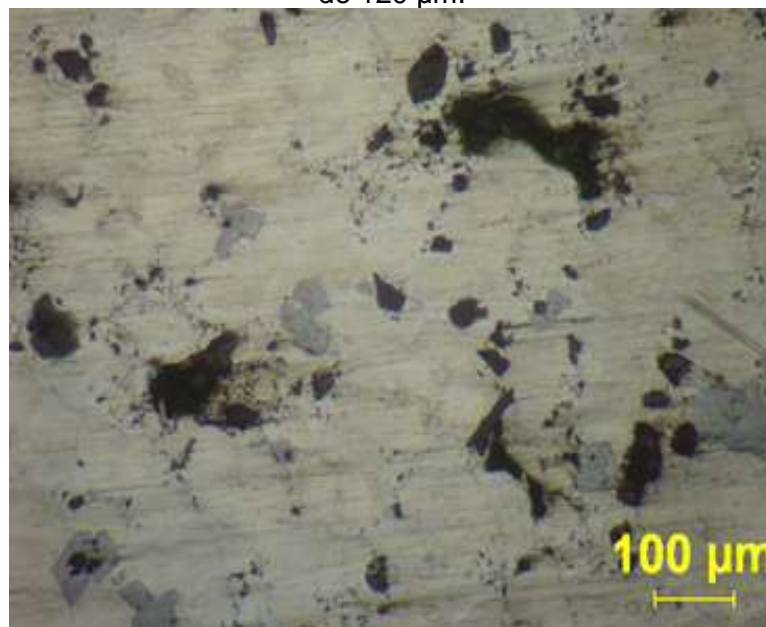
En la microfotografía se observa una buena distribución en la matriz metálica, zona de color gris claro.

Tabla 18. Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA 27 con 3% de partículas de cuarzo de 120 μm .

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T Cuarzo	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,640	96,3
Cuarzo	0,051	3,0
Mg	0,011	0,7
	1,703	100

Fuente: Autores

Figura 30. Microestructura 100x de la aleación ZA 27 con 3% de partículas de cuarzo de 120 μm .



Fuente: Autores

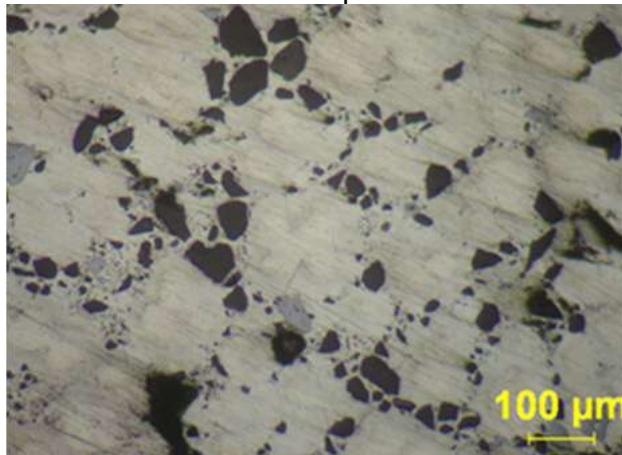
3.5.2. *Reforzamiento de la aleación ZA 27 con 6% de partículas de cuarzo de 120 μm .*

Tabla 19. Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA 27 con 6% de partículas de cuarzo de 120 μm .

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T Cuarzo	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,570	93,3
Cuarzo	0,101	6,0
Mg	0,011	0,7
	1,682	100

Fuente: Autores

Figura 31. Microestructura 100x de la aleación ZA 27 con 6% de partículas de cuarzo de 120 μm .



Fuente: Autores

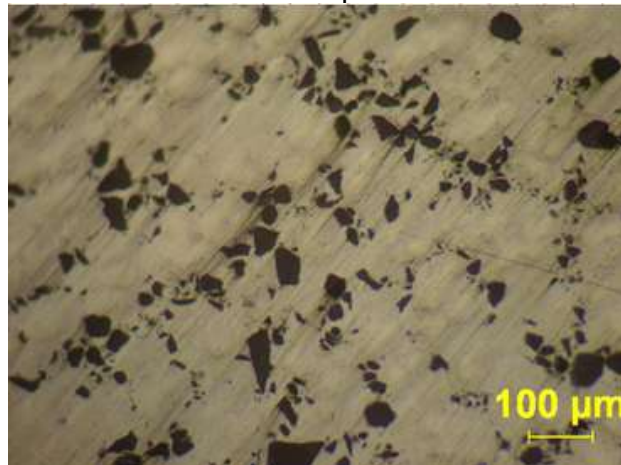
3.5.3. *Reforzamiento de la aleación ZA 27 con 9% de partículas de cuarzo de 120 μm .*

Tabla 20. Parámetros y condiciones de mezclado de la aleación ZA 27 con 9% de partículas de cuarzo de 120 μm .

Parámetros	Condiciones	
T Colada	620°C	
T Cuarzo	550 °C	
Tipo de paleta	Disco con ranura	
Velocidad de mezclado	3 000 rpm	
	Masa [Kg]	Porcentaje en peso [%]
ZA27	1,770	90,3
Cuarzo	0,176	9,0
Mg	0,013	0,7
	1,959	100

Fuente: Autores

Figura 32. Microestructura 100x de la aleación ZA 27 con 9% de partículas de cuarzo de 120 μm .



Fuente: Autores

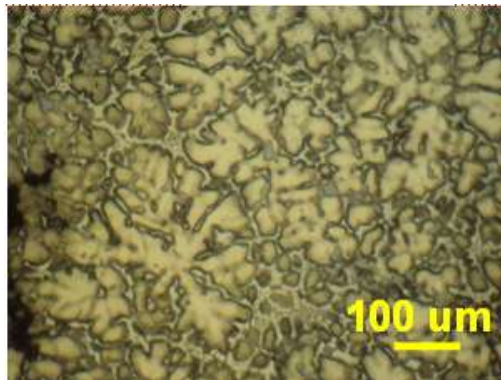
CAPITULO IV

4. EXPERIMENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1. Caracterización de la fundición ZA27.

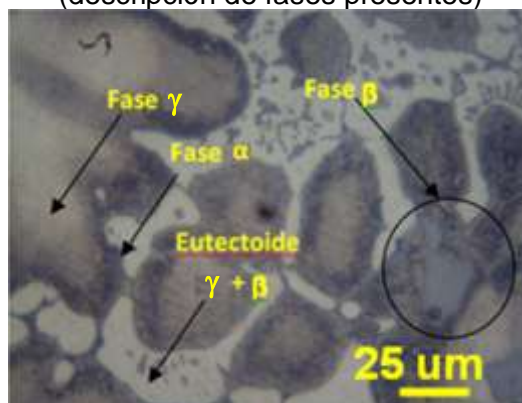
Realizando un análisis metalográfico del material fundido se observa que la microestructura de la aleación ZA 27 sin la presencia de partículas de refuerzo muestra una estructura dendrítica comprendida por dendritas primarias γ ricas en aluminio rodeadas por un eutectoide $\gamma + \beta$ y una fase meta estable α en la zona interdendrítica, además de una fase residual β rica en zinc de color gris más claro como se muestra en la Figuras 33 y 34.

Figura 33. Microestructura ZA 27 atacada con Palmerton a 100x



Fuente: Autores

Figura 34. Microestructura de aleación ZA27 atacada con Palmerton a 500x (descripción de fases presentes)

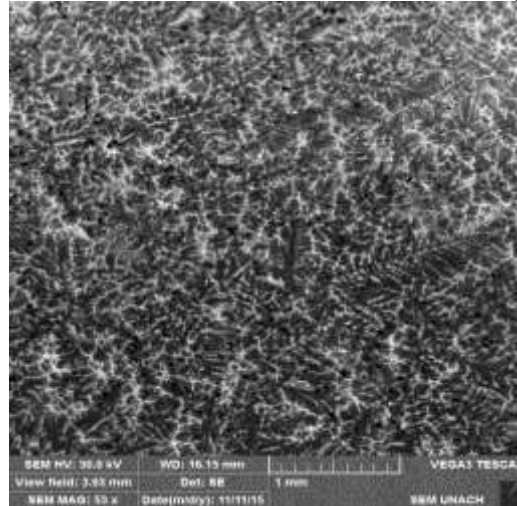


Fuente: Autores

Efectuando una microestructura electrónica se puede apreciar con mayor claridad la formación de granos dendríticos y las diferentes fases existentes en la aleación

descritas anteriormente, como se muestran en las Figuras 35 y 36.

Figura 35. Microestructura de la aleación ZA 27 (SEM 53x)



Fuente: Autores (SEM UNACH)

Figura 36. Microestructura de la aleación ZA 27 (SEM 3500X)



Fuente: Autores (SEM UNACH)

De forma similar se realizó una espectrometría del material ZA 27 sin refuerzos obteniendo las concentraciones de los compuestos mostrados en la Tabla 21.

Tabla 21. Espectrometría Aleación ZA 27

Elemento	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C Error [at.%]	(1 Sigma) [wt.%]
Zinc	K-	69,29	68,58	47,41	1,68
Aluminio	K-	30,04	30,74	51,52	1,55
Silicio	K-	0,68	0,68	1,07	0,07
		100	100	100	

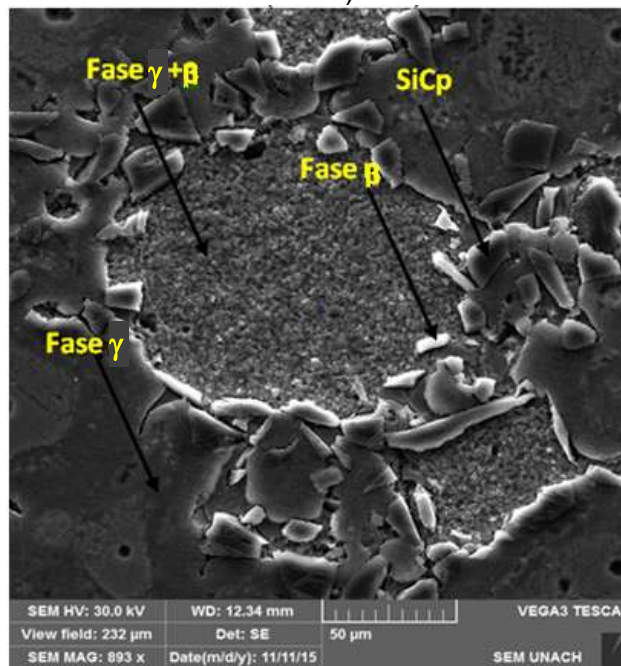
Fuente: Autores (SEM UNACH)

4.2. Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con SiC.

En las aleaciones de ZA 27 reforzada con partículas de SiC se puede observar que la microestructura de la matriz no cambia por efecto de la presencia de las partículas.

Las distintas fases presentes en esta aleación reforzada y las partículas de carburo de silicio distribuidas en el metal base se pueden observar claramente en la fotomicrografía de la Figura 37.

Figura 37. Microestructura de aleación ZA 27 con partículas de SiC de 25 μm (SEM 893X)



Fuente: Autores (SEM UNACH)

Realizando un análisis de la concentración de compuestos en cada fase presente en la microestructura se corrobora lo descrito anteriormente, obteniendo una zona rica en zinc como muestra los datos de la Tabla 22 que corresponde a la fase β , una zona rica en aluminio (fase γ) teniendo las concentraciones mostradas en la Tabla 23 y la composición química de las partículas de carburo de silicio mostradas en la Tabla 24.

Tabla 22: Espectrometría ZA 27 (fase β)

Elemento	Series	norm. C [wt.%]	Atom. C Error [at.%]	(1 Sigma) [wt. %]
Cinc	K-series	98,396 843	90,140 350	2,02
Aluminio	K-series	1,492 169	9,552 631	0,11
Magnesio	K-series	0,110 987	0,307 017	0,04
	Total:	100	100	

Fuente: Autores (SEM UNACH)

Tabla 23. Espectrometría ZA 27 (fase γ)

Elemento	Series	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.4]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Cinc	K-series	56,161 43	33,029 12	1,41
Aluminio	K-series	39,258 58	55,952 22	2,00
Oxígeno	K-series	4,579 97	11,018 65	1,02
	Total:	100	100	

Fuente: Autores (SEM UNACH)

Tabla 24. Espectrometría ZA 27 (Partícula de SiC)

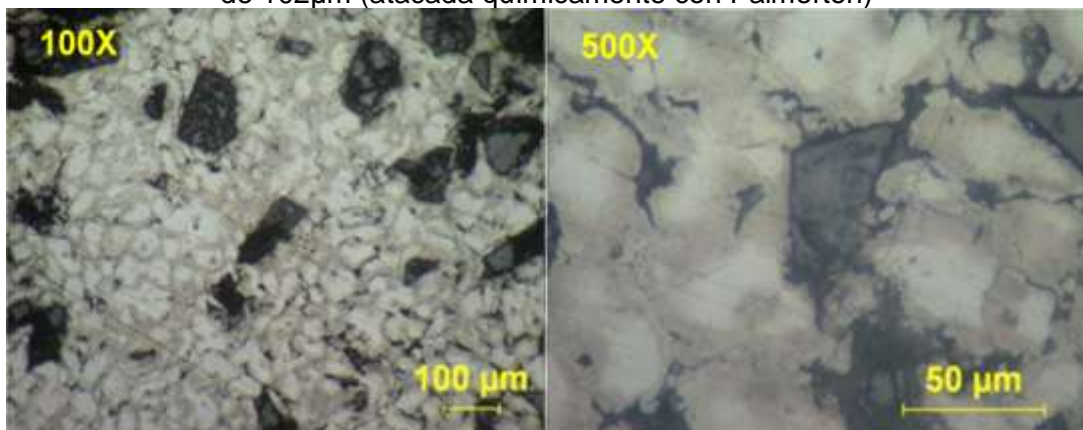
Elemento	Series	norm. C [wt.%]	Atom. C Error [at.%]	(1 Sigma) [wt.%]
Silicio	K-series	71,42	53,50	3,56
Carbono	K-series	25,90	45,37	12,92
Cinc	K-series	2,09	0,67	0,22
Aluminio	K-series	0,59	0,46	0,10
	Total:	100	100	

Fuente: Autores (SEM UNACH)

4.2.1. Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con partículas de SiC de un tamaño de 102 μm . En las aleaciones de ZA 27 reforzada con partículas de SiC de 102 μm se puede observar que la microestructura de la matriz base corresponde a la misma de la aleación sin refuerzos descrita anteriormente. Las partículas se encuentran distribuidas en el material base sin ningún orden específico.

4.2.1.1. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 102 μm . En la Figura 38 se puede observar la microestructura de la aleación con el 3% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

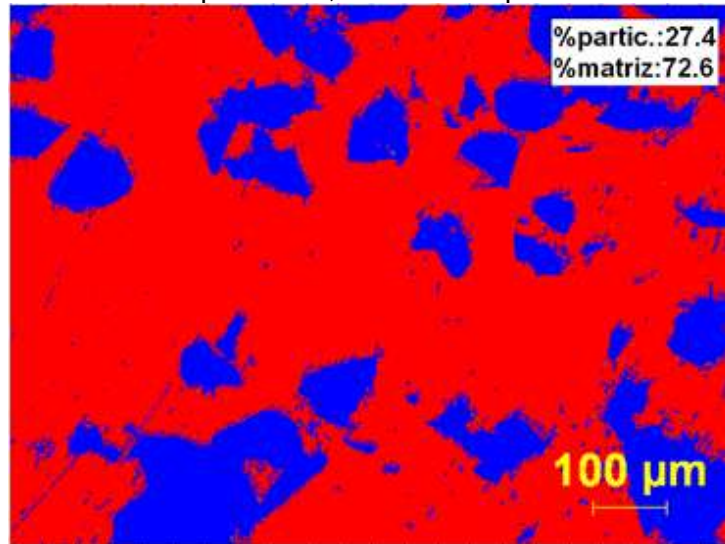
Figura 38. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 102 μm (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis cuantitativo computarizado de imagen se obtiene que para un 3% de refuerzos de SiC de 102 μm existe una concentración del 27,4% de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 39.

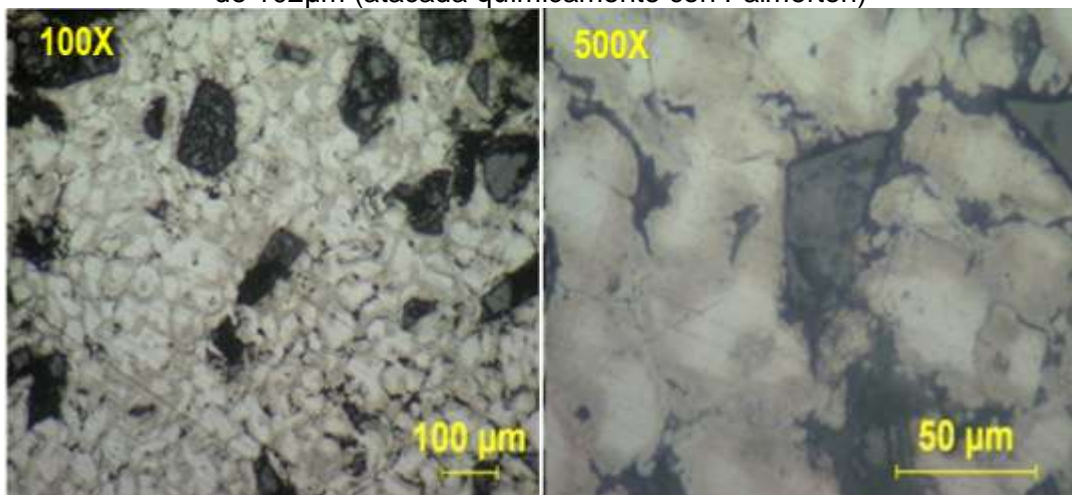
Figura 39. Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 102 μ m
(Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



Fuente: Autores

4.2.1.2. ZA 27 reforzada con 6 % de partículas de SiC de 102 μ m. En la Figura 40 se puede observar la microestructura de la aleación con el 6% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

Figura 40. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6 % de partículas de SiC de 102 μ m (atacada químicamente con Palmerton)

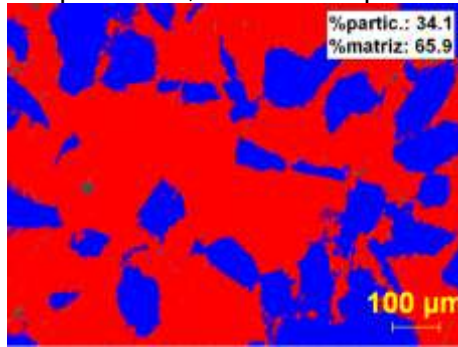


Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas cerámicas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 6 % de refuerzos de SiC de 102 μ m existe una concentración del 34,1 % de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 41.

Los granos se encuentran de forma aleatoria en la matriz.

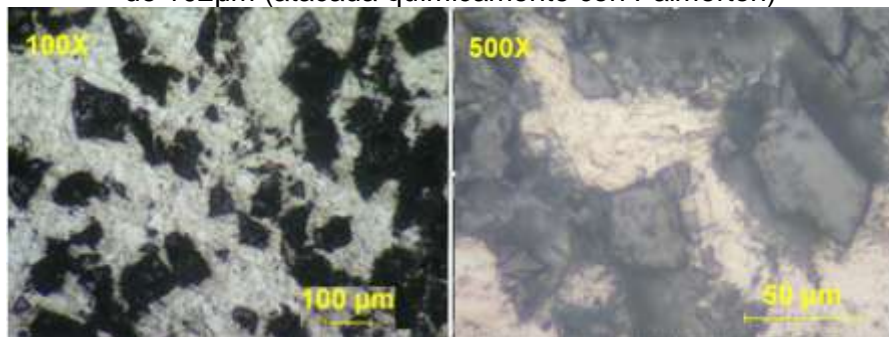
Figura 41. Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 102 μ m (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



Fuente: Autores

4.2.1.3. *ZA27 reforzada con 9 % de partículas de SiC de 102 μ m.* En la Figura 42 se puede observar la microestructura de la aleación con el 9 % de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

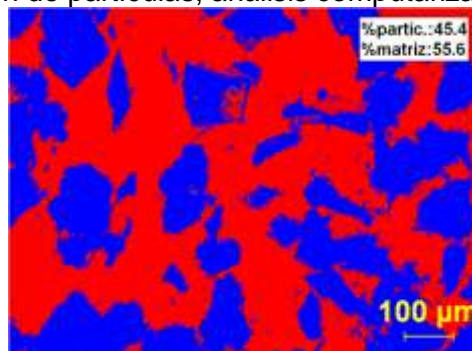
Figura 42. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 102 μ m (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 9% de refuerzos de SiC de 102 μ m existe una concentración del 45,4% de estas en el metal fundido como indica la Figura 43.

Figura 43. Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 102 μ m (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)

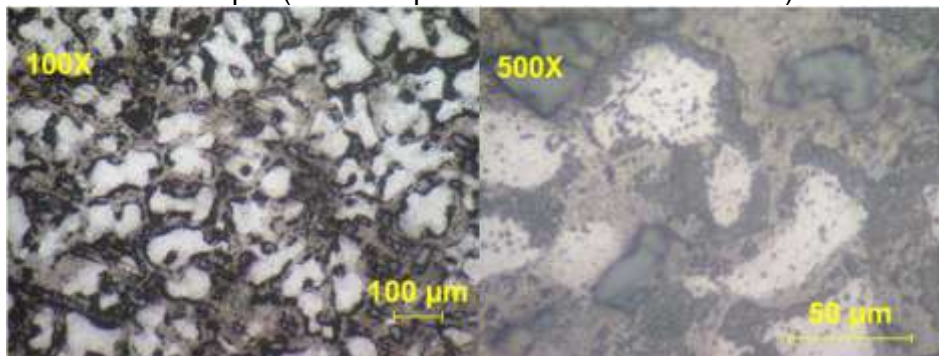


Fuente: Autores

4.2.2. *Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con partículas de SiC de un tamaño de 25 μm .* En las aleaciones de ZA 27 reforzada con partículas de SiC de 25 μm se puede observar que la microestructura de la matriz base corresponde a la misma de la aleación sin refuerzos descrita anteriormente. Las partículas se encuentran distribuidas en su gran mayoría a lo largo de los límites de grano.

4.2.3. *Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 25 μm .* En la Figura 44 se puede observar la microestructura de la aleación con el 3% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

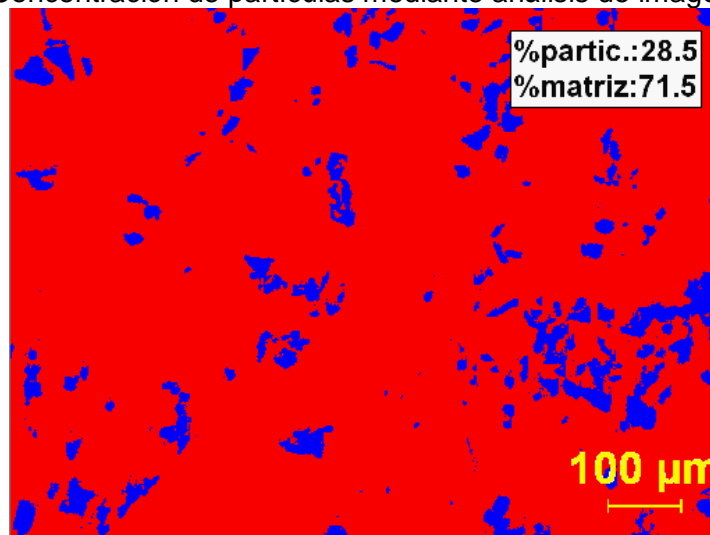
Figura 44. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 25 μm (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 3% de refuerzos de SiC de 25 μm hay una concentración de 27,4% de estas en el metal fundido como muestra la Figura 45.

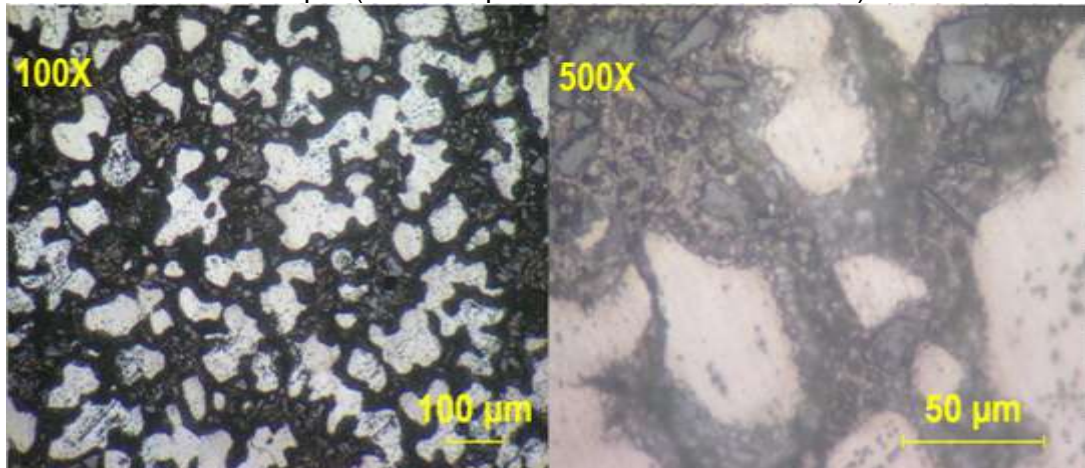
Figura 45. Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de SiC de 25 μm (Concentración de partículas mediante análisis de imagen)



Fuente: Autores

4.2.4. *Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 25µm.* En la Figura 46 se puede observar la microestructura de la aleación con el 6% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

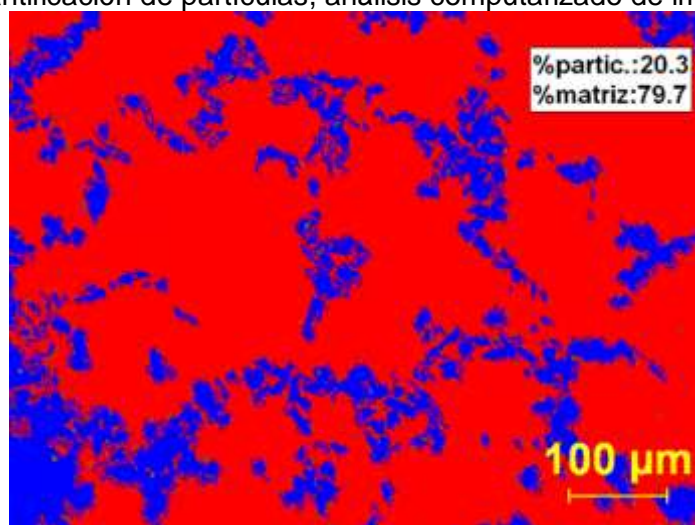
Figura 46. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 25µm (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen*, se obtiene que para un 6% de refuerzos de SiC de 25 µm existe una concentración del 20,3% de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 47

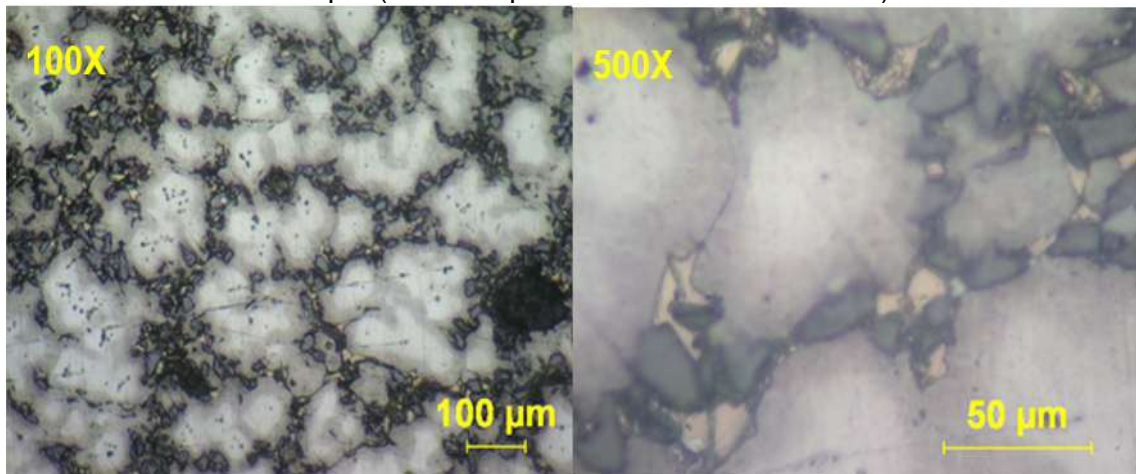
Figura 47. Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de SiC de 25µm (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



Fuente: Autores

4.2.4.2. *Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 25µm.* En la Figura 48 se puede observar la microestructura de la aleación con el 9% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

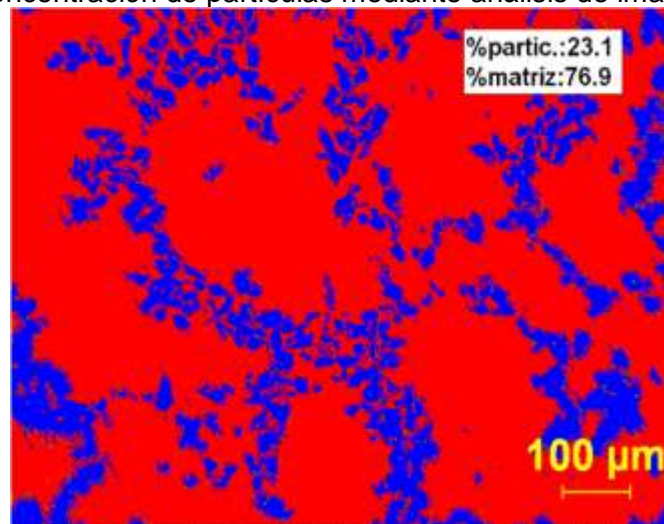
Figura 48. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 25µm (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas se obtiene que para un 9% de refuerzos de SiC de 25 µm existe una concentración del 23,1% de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 49

Figura 49. Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de SiC de 25µm (Concentración de partículas mediante análisis de imagen)



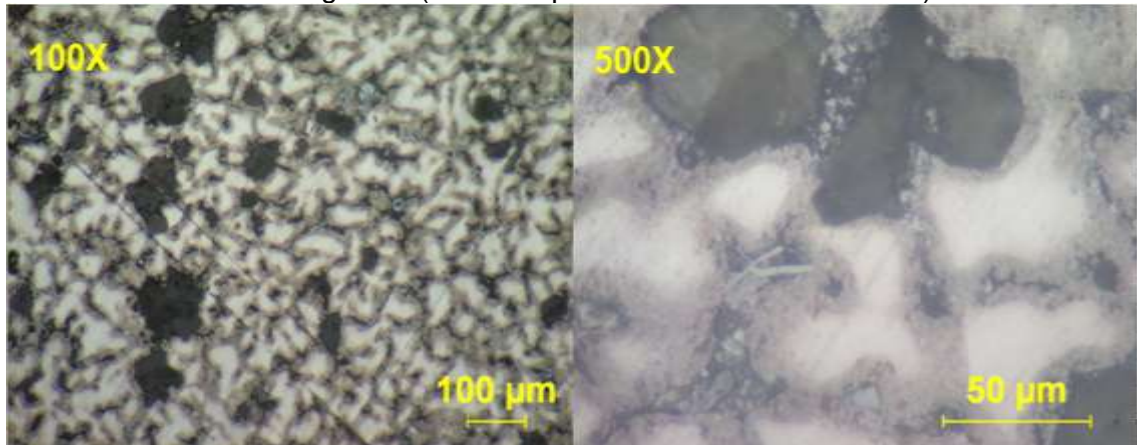
Fuente: Autores

4.3. Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con partículas de Al₂O₃ gruesa.

En las aleaciones de ZA 27 reforzada con partículas de alúmina gruesa se puede observar que la microestructura de la matriz base corresponde a la misma de la aleación sin refuerzos descrita anteriormente. Mientras que las partículas se encuentran distribuidas en el material base sin ningún orden específico.

4.3.1. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Al_2O_3 gruesa. En la Figura 50 se puede observar la microestructura de la aleación con el 3% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

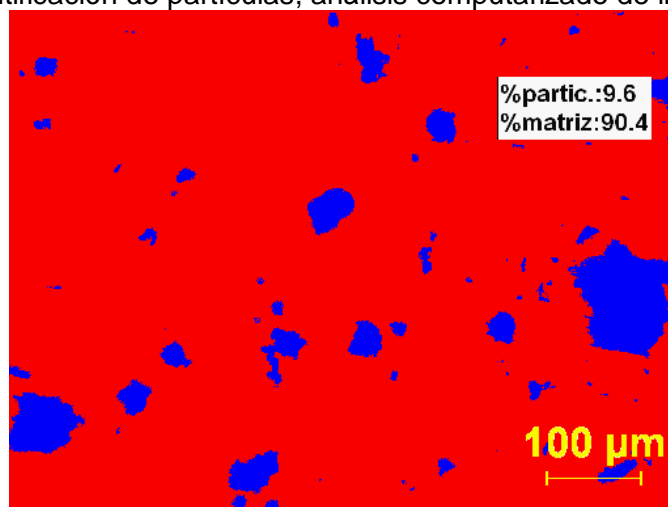
Figura 50. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Alúmina gruesa (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas cerámicas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 3 % de refuerzos de alúmina gruesa existe una concentración del 9,6 % de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 51.

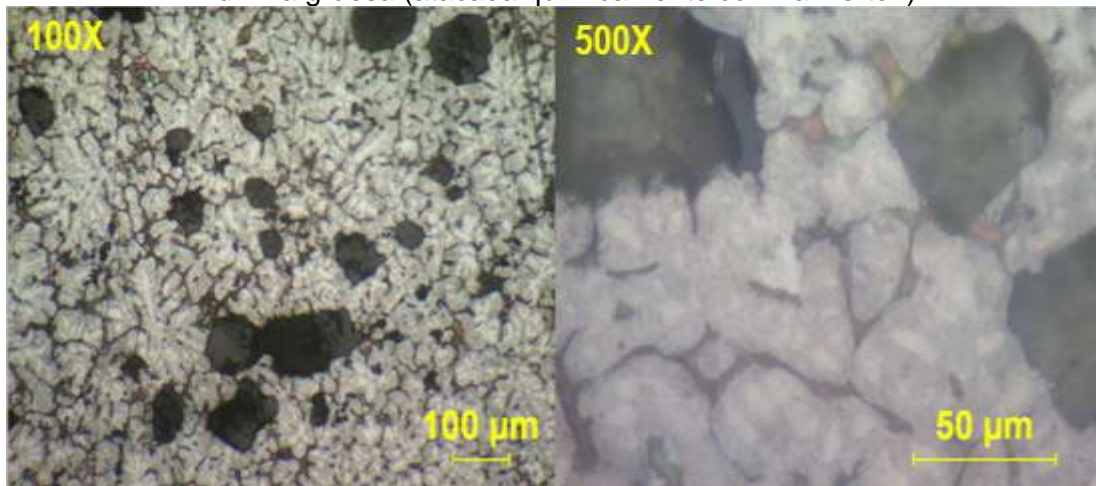
Figura 51. Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Alúmina Gruesa (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



Fuente: Autores

4.3.2. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Al_2O_3 gruesa. En la Figura 52 se puede observar la microestructura de la aleación con el 6% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

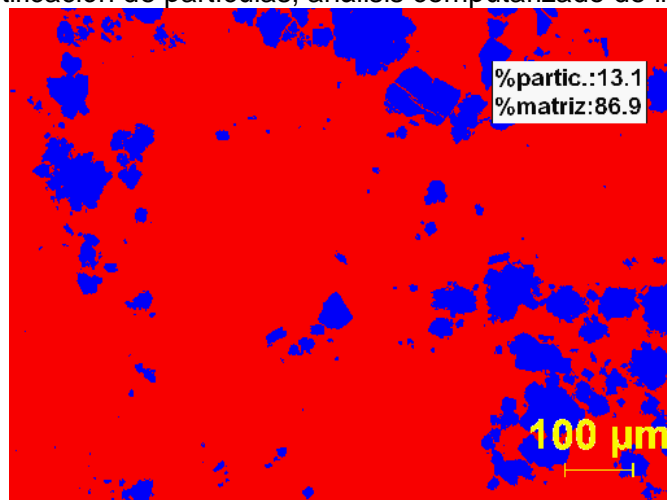
Figura 52. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Alúmina gruesa (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 6 % de refuerzos de alúmina gruesa existe una concentración del 13,1 % de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 53.

Figura 53. Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Alúmina Gruesa (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)

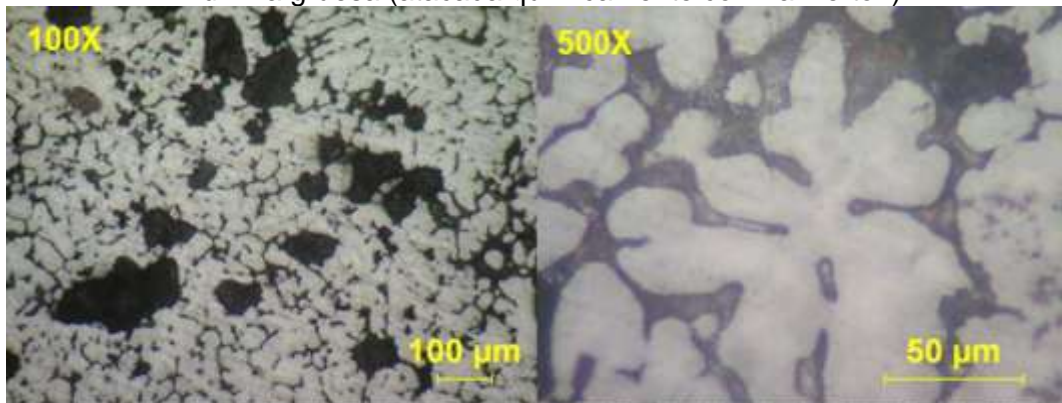


Fuente: Autores

4.3.3. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Al_2O_3 gruesa. En la Figura 54 se observa la microestructura de la aleación con el 9% de refuerzos de partículas cerámicas de alúmina (Al_2O_3) y la distribución de estas en la misma.

La alúmina gruesa consta de partículas que de tamaño entre 10 μm y 120 μm .

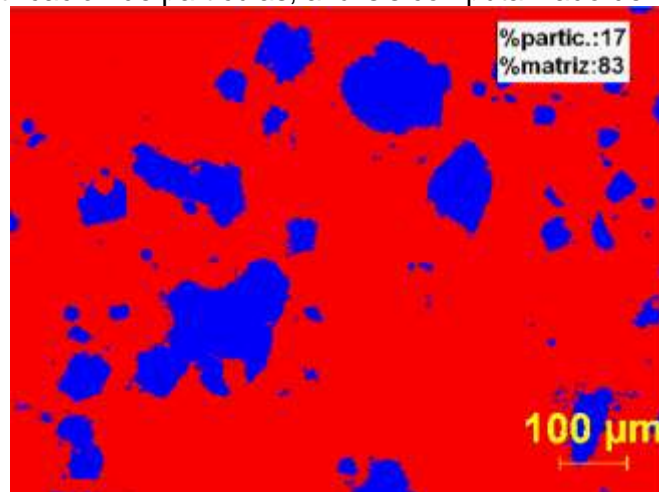
Figura 54. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Alúmina gruesa (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 9% de refuerzos de alúmina gruesa existe una concentración del 17% de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 55.

Figura 55. Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Alúmina Gruesa (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



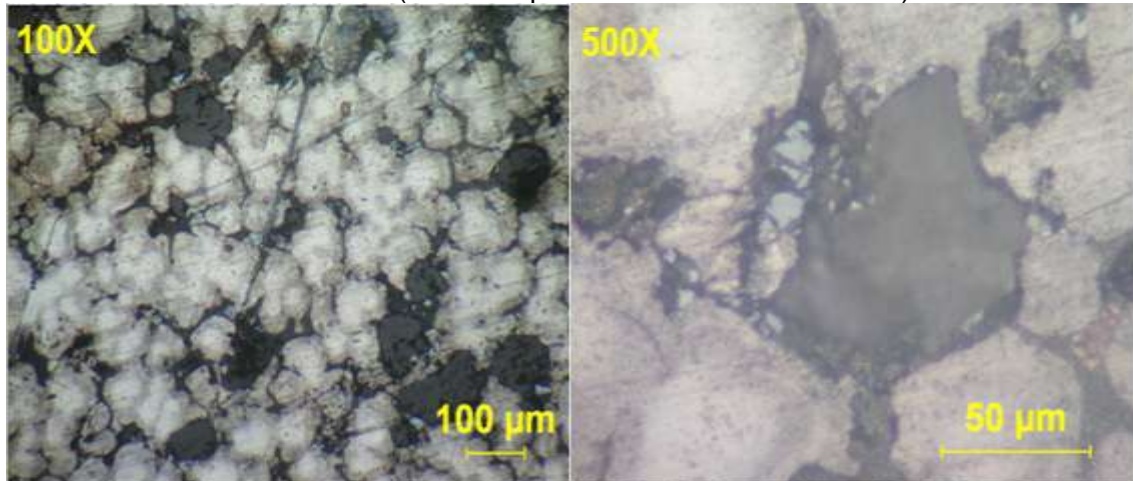
Fuente: Autores

4.4. Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con partículas de Al_2O_3 fina.

En las aleaciones de ZA 27 reforzada con partículas de alúmina fina se puede observar que la microestructura de la matriz base corresponde a la misma de la aleación sin refuerzos descrita anteriormente. Las partículas se encuentran distribuidas en su gran mayoría en el material base sin ningún orden específico, mientras que otras más finas se ubican en los límites de grano.

4.4.1. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Al_2O_3 fina. En la Figura 56 se puede observar la microestructura de la aleación con el 3% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

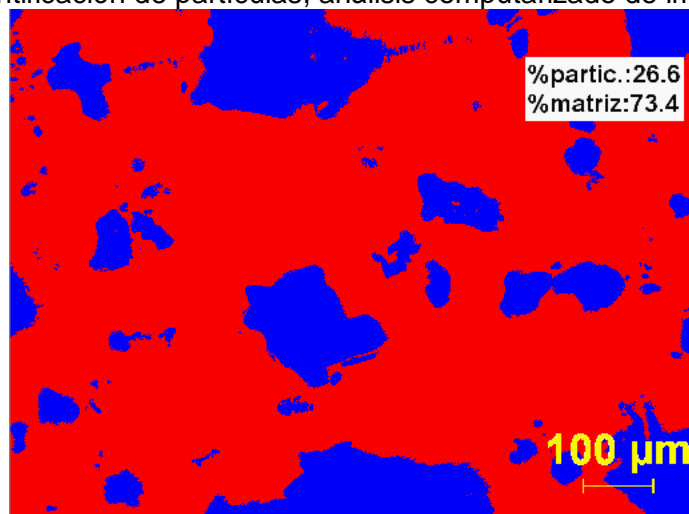
Figura 56. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Alúmina fina (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 3 % de refuerzos de alúmina fina existe una concentración del 26,6 % de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 57.

Figura 57. Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Alúmina fina (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)

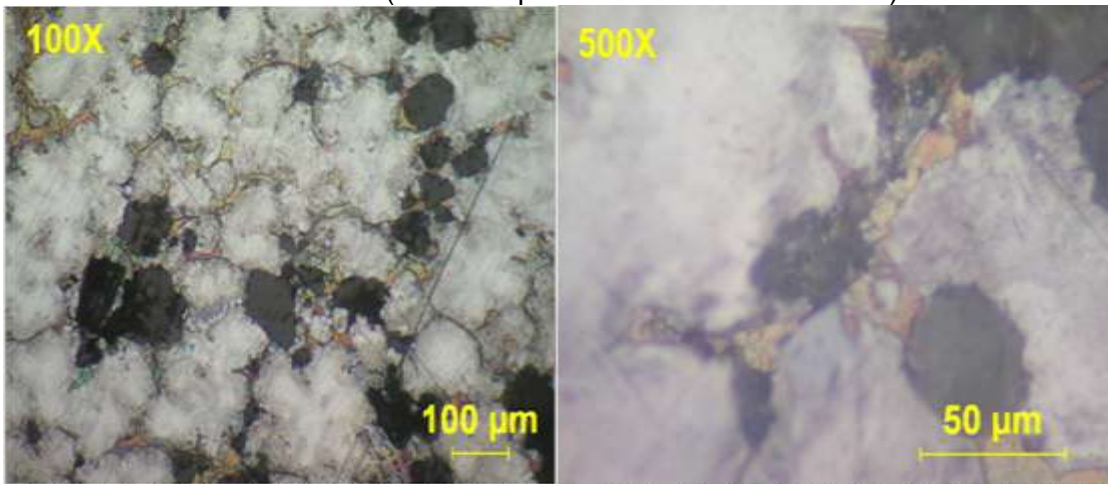


Fuente: Autores

4.4.2. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Al_2O_3 fina. En la Figura 58 se puede observar la microestructura de la aleación con el 6% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

La alúmina fina consta de partículas que de tamaño entre 10 μm y 120 μm .

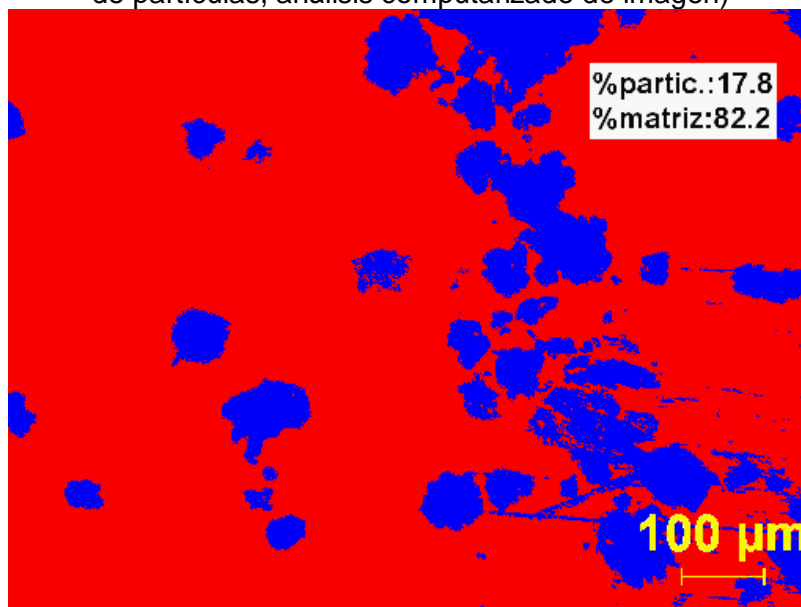
Figura 58. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Alúmina fina (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 6% de refuerzos de alúmina fina existe una concentración del 17,8% de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 59

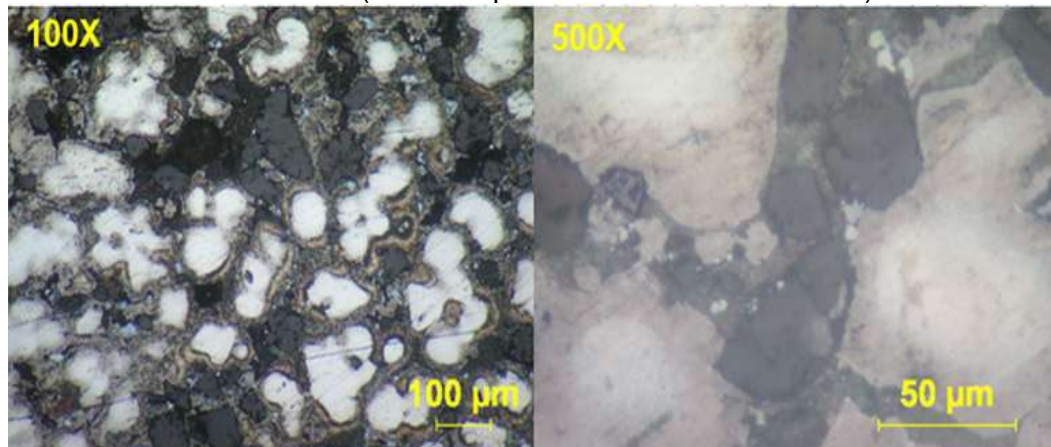
Figura 59. Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Alúmina (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



Fuente: Autores

4.4.3. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Al_2O_3 fina. En la Figura 60 se puede observar la microestructura de la aleación con el 9% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

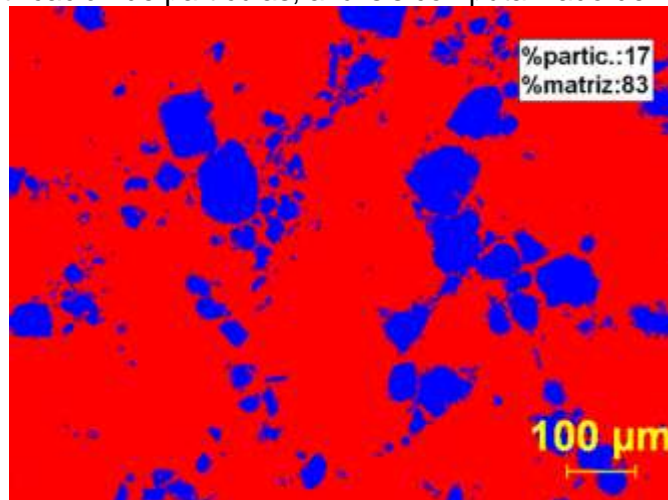
Figura 60. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Alúmina fina (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 9% de refuerzos de alúmina fina existe una concentración del 17% de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 61.

Figura 61. Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Alúmina fina (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



Fuente: Autores

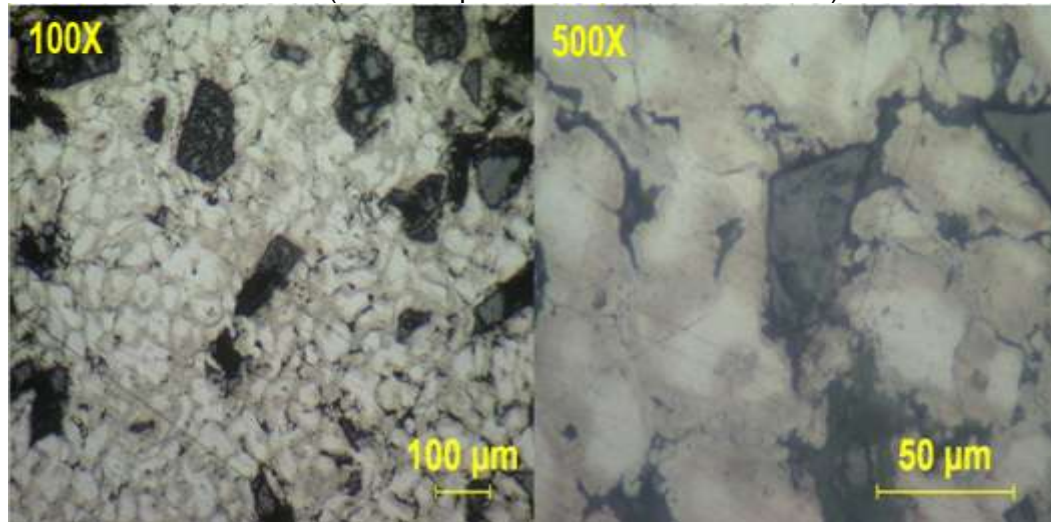
4.5. Caracterización de la fundición ZA27 reforzada con cuarzo.

En las aleaciones de ZA 27 reforzada con partículas de cuarzo gruesa se puede observar que la microestructura de la matriz base corresponde a la misma de la aleación sin refuerzos descrita anteriormente.

Las partículas se encuentran distribuidas en el material base sin ningún orden específico.

4.5.1. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de cuarzo.
En la Figura 62 se puede observar la microestructura de la aleación con el 3% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

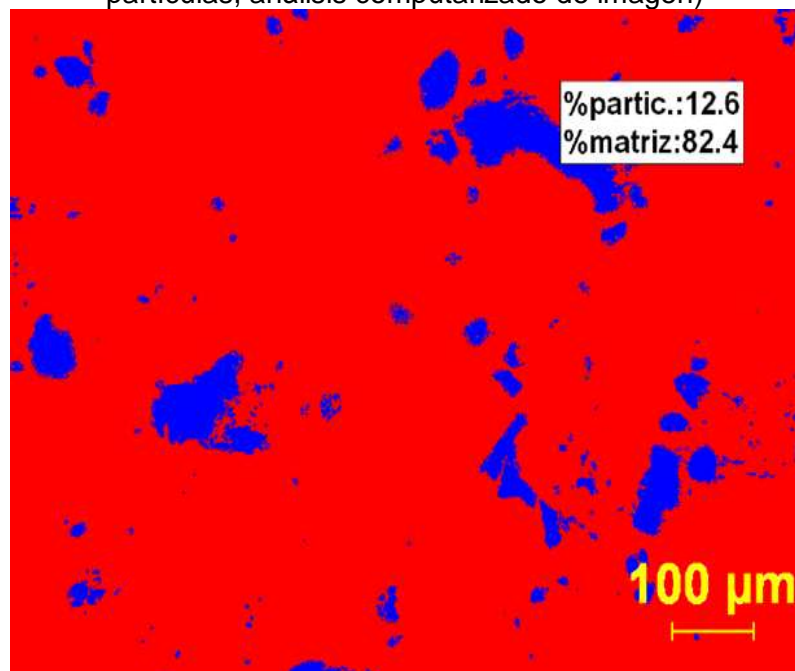
Figura 62. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Cuarzo (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 3 % de refuerzos de cuarzo existe una concentración del 12,6 % de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 63.

Figura 63. Aleación ZA27 reforzada con 3% de partículas de Cuarzo (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



Fuente: Autores

4.5.2. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de cuarzo. En la Figura 64 se puede observar la microestructura de la aleación con el 6% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

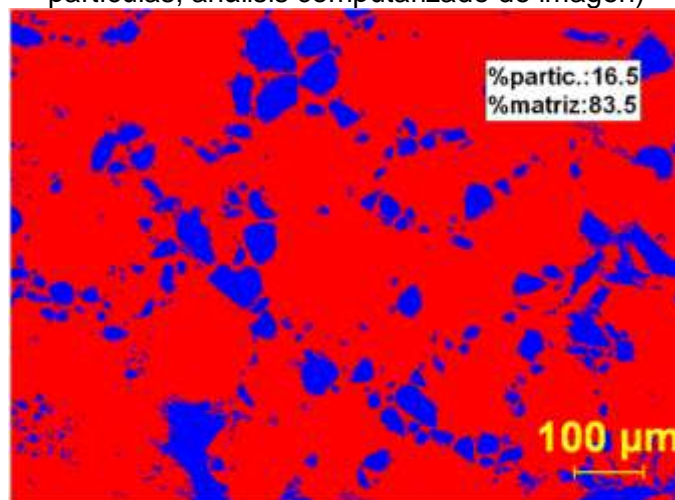
Figura 64. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Cuarzo (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 6% de refuerzos de cuarzo existe una concentración del 26,6 % de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 65.

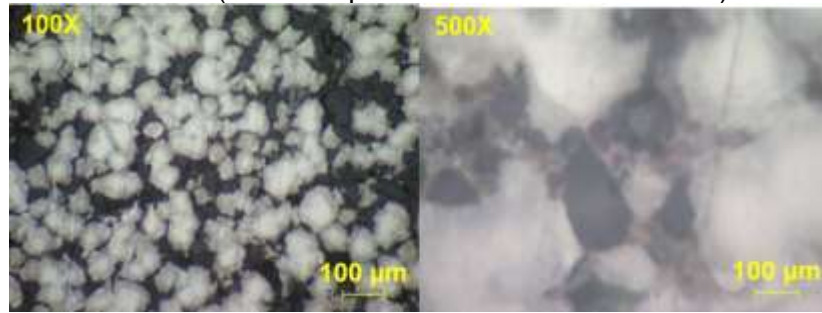
Figura 65. Aleación ZA27 reforzada con 6% de partículas de Cuarzo (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



Fuente: Autores

4.5.3. Caracterización de la aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de cuarzo. En la Figura 66 se puede observar la microestructura de la aleación con el 9% de refuerzos y la distribución de las partículas en la misma.

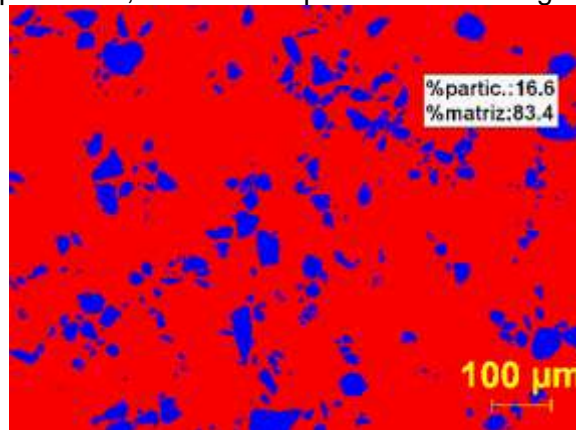
Figura 66. Microestructura de la Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Cuarzo (atacada químicamente con Palmerton)



Fuente: Autores

Realizando un análisis porcentual de concentración de partículas en el programa *análisis de imagen* se obtiene que para un 9% de refuerzos de cuarzo, contiene una concentración del 16,6% de estas en el metal fundido como se muestra en la Figura 67

Figura 67. Aleación ZA27 reforzada con 9% de partículas de Cuarzo (Cuantificación de partículas, análisis computarizado de imagen)



Fuente: Autores

4.6. Análisis de durezas

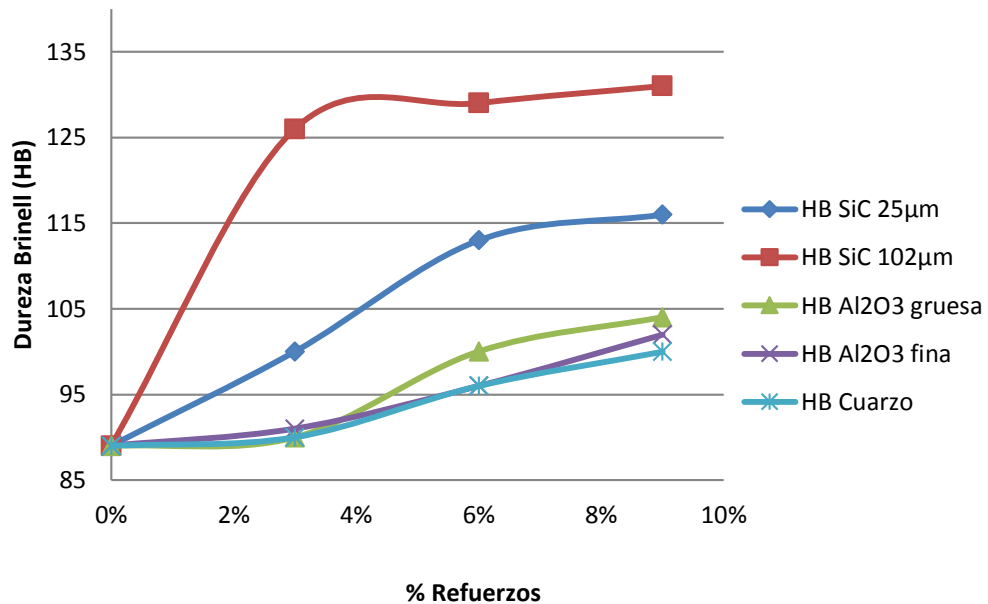
Para realizar el ensayo de dureza se usó el durómetro de la facultad con un diámetro de indentador de 2,5 mm y aplicando una carga de 613 N. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 25. Y se representan en la gráfica de la Figura 68.

Tabla 25. Durezas Brinell (HB) obtenidas de aleaciones ZA 27 reforzadas con partículas cerámicas.

Refuerzo [%]	HB SiC 25µm	HB SiC 102µm	HB Al ₂ O ₃ gruesa	HB Al ₂ O ₃ fina	HB Cuarzo
0%	89	89	89	89	89
3%	100	126	90	91	90
6%	113	129	100	96	96
9%	116	131	104	102	100

Fuente: Autores

Figura 68. Durezas Brinell (HB) obtenidas de aleaciones ZA 27 reforzadas con partículas cerámicas.



Fuente: Autores

Analizando los datos obtenidos se observa que en todos los casos que se reforzó la aleación la dureza de la misma aumentó. La aleación reforzada con partículas de carburo de silicio de 102 µm es la que muestra un mayor incremento en la dureza del material en un margen de 89 HB de la aleación base hasta 131 HB de la aleación con 9% de refuerzos. Por el contrario se observa que la aleación reforzada con partículas de cuarzo y alúmina fina son las que presenta menor incremento de dureza teniendo como valor máximo 100 HB y 102 HB respectivamente.

Mientras mayor concentración de partículas se adiciona al material base, la dureza de este aumenta teniendo para 9% de refuerzos la dureza más alta de cada grupo.

De las partículas de refuerzo aplicadas se observa que el SiC de 102 µm son las que presentan un mayor incremento de la dureza, aun así, el incremento de dicha dureza entre 3% a 9% no es muy significativo, por lo que se considera que el mejor material en relación al % partículas/dureza es el reforzado con 3% de partículas.

4.7. Ensayo de impacto Charpy

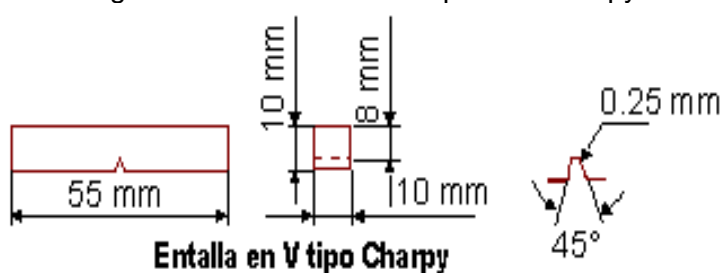
Para la realización del ensayo de impacto se utilizó la máquina del péndulo Charpy y se mecanizaron probetas con medidas como indica la Norma ASTM E 23 – 82 con una muesca en “V” como se muestran en las Figuras 69 y 70.

Figura 69. Probeta Charpy estándar



Fuente: Autores

Figura 70. Medidas de una probeta charpy



Fuente: (Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales)

Resultados

Tabla 26. Resultados de ensayos Charpy para las diferentes aleaciones ZA reforzadas con partículas cerámicas

Aleación	Energía Absorbida [J]
ZA27	3,30
ZA27+SiC 9% (102µm)	0,80
ZA27+ Al ₂ O ₃ 9% fina	0,65
ZA27+SiC 3% (25µm)	0,80
ZA27+SiC 6% (25µm)	0,65
ZA27+SiC 9% (25µm)	0,60
ZA27+ Al ₂ O ₃ 9% gruesa	1,05
ZA27+Cuarzo 9% (120µm)	0,85

Fuente: Autores

Al realizar el análisis entre la probeta de la aleación sin refuerzos y las reforzadas se observa que en estas últimas la resistencia al impacto se ve afectada, disminuyendo considerablemente en comparación con el material base.

Aunque la probeta reforzada con 9% de SiC de 25 µm no es la que presenta mayor dureza, esta es la más frágil debido a que las partículas se encuentran ubicadas en su gran mayoría en el límite de grano.

Revisando la bibliografía para la resistencia al impacto en aleaciones de ZA 27 coladas por inyección tenemos que la energía absorbida es de 5 J (Grupo Industrial C&C - Oxido Metal S.A.), no muy distante de la obtenida en esta investigación que fue de 3,3 J.

4.8. Ensayos de desgaste.

Para realizar los ensayos se mecanizaron las probetas como manda la norma. Los ensayos de desgaste se desarrollaron en una máquina tribológica de cilindros cruzados (bajo la norma técnica ASTM G83-96), los mismos que fueron realizados en seco a una velocidad y carga constante de 400 rpm y 71.2 N respectivamente.

Se efectuaron 3 ensayos de cada aleación sin refuerzo y con refuerzos de partículas cerámicas, con un tiempo de sesenta minutos cada uno.

4.8.1. Procedimiento.

- Medir el diámetro de la probeta.
- Limpiar las probetas con alcohol para eliminar cualquier impureza presente en la superficie de las mismas.
- Pesar las probetas en una balanza analítica con una sensibilidad de 0.1mg.
- Colocar las probetas fija y móvil en el tribómetro desenergizado.
- Energizar el equipo y calibrar el variador de frecuencias para el ensayo requerido (para 400 rpm se calibra con 13,9 Hz).
- Se pone en marcha el equipo para realizar el ensayo a plena carga.
- Con un cronómetro se toma el tiempo del ensayo.
- Una vez concluido el ensayo se procede a limpiar nuevamente las probetas.
- Posterior a esto se pesan una vez más.

4.8.2. Recolección de datos y cálculos. Obtención de datos

Datos de desgaste gravimétrico del ZA27

Tabla 27. Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27.

Aleación	ZA – 27					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Variación Peso [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Variación Peso [mg]
Ensayo 1	61 545,2	61 366,1	179,1	61 757,6	61 760,5	-2,9
Ensayo 2	59 994,5	59 887,8	106,7	64 538,2	64 546,3	-8,1
Ensayo 3	63 463,3	63 340,8	122,5	62 745,6	62 747,2	-1,6
Promedio			136,1			-4,2

Fuente: autores

Datos de desgaste gravimétrico del SiC 102 µm

Tabla 28. Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas SiC de 102 µm.

Aleación	ZA27 - SiC 102µm al 3%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	87 848,2	87 785,5	62,7	89 820,9	89 822,3	-1,4
Ensayo 2	92 868,7	92 833,3	35,4	91 298,4	91 298,7	-0,3
Ensayo 3	88 452,7	88 413,8	38,9	81 507,8	81 508,4	-0,6
Promedio			45,6			-0,7
Aleación	ZA27 - SiC 102µm al 6%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	83 246,9	83 202,7	44,2	79 003,9	79 004,5	-0,6
Ensayo 2	85 449,0	85 396,2	52,8	93 146,1	93 140,6	5,5
Ensayo 3	84 563,5	84 528,2	35,3	87 345,2	87 345,9	-0,7
Promedio			44,1			1,4
Aleación	ZA27 - SiC 102µm al 9%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	56 805,7	56 775,2	30,5	74 311,6	74 311,7	-0,1
Ensayo 2	89 673,0	89 649,9	23,1	48 515,8	48 516,0	-0,2
Ensayo 3	77 425,3	77 400,6	24,7	69 341,4	69 342,6	-1,2
Promedio			26,1			-0,5

Fuente: autores

Datos de desgaste gravimétrico de Al₂O₃ fina

Para la obtención de los datos requeridos para el cálculo, presentados en la Tabla 29, se procedió a realizar los pasos descritos anteriormente, obteniendo un diferencial de masa en miligramos.

Se realizó el mismo procedimiento tanto para la probeta móvil como para la fija, cada una con su par correspondiente a cada prueba. El diferencial de masa se cuantifica por separado.

Tabla 29. Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas de alúmina fina.

Aleación	ZA27 - Al ₂ O ₃ fina al 3%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	74 822,7	74 759,0	63,7	62 043,5	62 044,5	-1
Ensayo 2	90 575,0	90 499,6	75,4	58 847,6	58 846,9	0,7
Ensayo 3	74 327,0	74 256,6	70,4	52 713,3	52 714,2	-0,9
Promedio			69,5			-0,4
Aleación	ZA27 - Al ₂ O ₃ fina al 6%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	88 083,2	88 025,1	58,1	63 028,5	63 030,6	-2,1
Ensayo 2	80 460,8	80 390,5	70,3	82 218,1	82 214,9	3,2
Ensayo 3	91 699,3	91 624,3	75,0	80 146,7	80 147,7	-1
Promedio			67,8			0,7
Aleación	ZA27 - Al ₂ O ₃ fina al 9%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	69 536,1	69 479,2	56,9	58 306,3	58 303,3	3
Ensayo 2	90 424,5	90 355,2	69,3	86 284,9	86 286,2	-1,3
Ensayo 3	88 761,4	88 698,3	63,1	82 209,5	82 211,9	-2,4
Promedio			63,1			-0,2

Fuente: autores

Datos de desgaste gravimétrico del SiC 25 μm

Para la obtención de los datos requeridos para el cálculo, presentados en la Tabla 30, se procedió a realizar los pasos descritos anteriormente, obteniendo un diferencial de masa en miligramos.

Se realizó el mismo procedimiento tanto para la probeta móvil como para la fija, cada una con su par correspondiente a cada prueba. El diferencial de masa se cuantifica por separado.

Tabla 30. Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas de SiC de 25 μm.

Aleación	ZA27 - SiC 25μm al 3%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	89 562,9	89 502,0	60,9	83 134,5	83 136,9	-2,4
Ensayo 2	80 720,8	80 660,8	60,0	83 051,7	83 055,2	-3,5
Ensayo 3	91 846,4	91 783,7	62,7	79 113,3	79 114,5	-1,2
Promedio			61,2			-2,3
Aleación	ZA27 - SiC 25μm al 6%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	88 653,2	88 612,1	41,1	83 158,2	83 159,7	-1,5
Ensayo 2	93 091,8	93 059,3	32,5	62 164,8	62 165,4	-0,6
Ensayo 3	77 467,0	77 429,4	37,6	62 833,2	62 833,9	-0,7
Promedio			37,0			-0,9
Aleación	ZA27 - SiC 25μm al 9%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	91 022,0	90 983,2	38,8	87 014,9	87 015,1	-0,2
Ensayo 2	87 076,0	87 041,3	34,7	85 470,2	85 470,5	-0,3
Ensayo 3	84 945,2	84 909,3	35,9	89 996,3	89 996,5	-0,2
Promedio			36,4			-0,2

Fuente: Autores

Datos de desgaste gravimétrico de Al₂O₃ gruesa

Para la obtención de los datos requeridos para el cálculo, presentados en la Tabla 31, se procedió a realizar los pasos descritos anteriormente, obteniendo un diferencial de masa en miligramos.

Se realizó el mismo procedimiento tanto para la probeta móvil como para la fija, cada una con su par correspondiente a cada prueba. El diferencial de masa se cuantifica por separado.

Tabla 31. Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas de alúmina gruesa.

Aleación	ZA27 - Al ₂ O ₃ gruesa al 3%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	66 196,8	66 121,3	75,5	72 296,7	72 296,3	0,4
Ensayo 2	72 877,2	72 810,3	66,9	77 919,5	77 922,8	-3,3
Ensayo 3	68 853,7	68 775,1	78,6	57 107,1	57 109,4	-2,3
Promedio			73,6			-1,7
Aleación	ZA27 - Al ₂ O ₃ gruesa al 6%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	88 025,6	87 956,5	69,1	74 391,8	74 391,9	-0,1
Ensayo 2	94 290,8	94 224,9	65,9	81 640,3	81 642,1	-1,8
Ensayo 3	56 734,8	56 670,9	63,9	57 637,5	57 638,7	-1,2
Promedio			66,3			-1,033
Aleación	ZA27 - Al ₂ O ₃ gruesa al 9%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	74 521,1	74 472,4	48,7	89 110,8	89 111,2	-0,4
Ensayo 2	70 575,4	70 528,4	47	65 717,7	65 718,5	-0,8
Ensayo 3	77 134,4	77 099,6	34,8	70 575,4	70 576,2	-0,8
Promedio			43,5			-0,6

Fuente: Autores

Datos de desgaste gravimétrico del Cuarzo

Para la obtención de los datos requeridos para el cálculo, presentados en la Tabla 32, se procedió a realizar los pasos descritos anteriormente, obteniendo un diferencial de masa en miligramos.

Se realizó el mismo procedimiento tanto para la probeta móvil como para la fija, cada una con su par correspondiente a cada prueba. El diferencial de masa se cuantifica por separado.

Tabla 32. Datos obtenidos para ensayo de desgaste la aleaciones ZA27 reforzadas con partículas de Cuarzo.

Aleación	ZA27 - Cuarzo 3%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	80 812,2	80 738,3	73,9	72 936,7	72 941,1	-4,4
Ensayo 2	84 440,4	84 385,8	54,6	80 467,9	80 468,1	-0,2
Ensayo 3	79 016,3	78 956,1	60,2	76 144,6	76 145,7	-1,1
Promedio			62,9			-1,9
Aleación	ZA27 - Cuarzo 6%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	88 042,9	88 000,1	42,8	81 307,6	81 308,8	-1,2
Ensayo 2	75 785,1	75 764,2	20,9	91 524,5	91 527,2	-2,7
Ensayo 3	82 454,5	82 416,7	37,8	76 752,7	76 753,9	-1,2
Promedio			33,8			-1,7
Aleación	ZA27 - Cuarzo 9%					
	Probeta móvil			Probeta fija		
	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]	Peso antes del ensayo [mg]	Peso después del ensayo [mg]
Ensayo 1	87 725,3	87 682,9	42,4	55 921,2	55 920,9	0,3
Ensayo 2	83 252,2	83 229,8	22,4	67 292,2	67 291,7	0,5
Ensayo 3	80 614,8	80 581,7	33,1	73 570,1	73 571,2	-1,1
Promedio			32,6			-0,1

Fuente: Autores

Cálculo de la intensidad gravimétrica de desgaste

La intensidad gravimétrica de desgaste en función de la diferencia de masa se determina mediante la siguiente fórmula:

$$I_g = \frac{g}{S_f \cdot A_n} \quad (6)$$

$$S_f = v \cdot t \quad (7)$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot rpm}{60 \ 000} \quad (8)$$

Donde:

I_g: intensidad gravimétrica de desgaste

g: pérdida de peso en (mg)

S_f: recorrido de la fricción

A_n: área nominal de contacto

v: Velocidad de ensayo

d: diámetro de la probeta

Para el cálculo de *A_n* se considera la fórmula propuesta por Chichinadze en su obra Manual de fricción, desgaste y lubricación para probetas de cilindros de cruzados y radios iguales.

$$\rho = 0,909 \sqrt[3]{\theta_z \cdot r \cdot N} \quad (9)$$

Donde:

ρ: radio del área de contacto

θ_z: Sumatoria de los módulos de elasticidad de los materiales en contacto

N : carga nominal

r : radio de la probeta

$$\theta_z = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \quad (10)$$

μ_1 y μ_2 : coeficientes de Poisson

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (11)$$

Datos:

$$N = 71,2 \text{ N}$$

$$E_1 \text{ y } E_2 = 77,9 \text{ GPa} = 77900 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu_1 \text{ y } \mu_2 = 0,32$$

$$r_1 \text{ y } r_2 = 7,5 \text{ mm}$$

Cálculo de la sumatoria de los módulos de elasticidad de los materiales en contacto

$$\theta_z = \frac{1 - (0,32)^2}{77\,900 \text{ N/mm}^2} + \frac{1 - (0,32)^2}{77\,900 \text{ N/mm}^2}$$

$$\theta_z = 2,304\,493 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$$

$$r = \frac{(7,5 \text{ mm}) \cdot (7,5 \text{ mm})}{7,5 \text{ mm} + 7,5 \text{ mm}}$$

$$r = 3,75 \text{ mm}$$

Cálculo del radio del área de contacto

$$\rho = 0,909 \sqrt[3]{(2,304\,493 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}) \cdot 3,75 \text{ mm} \cdot 71,2 \text{ N}}$$

$$\rho = 0,166 5mm$$

Cálculo del área nominal de contacto A_n

$$A_n = \pi \cdot \rho^2 \quad (11)$$

$$A_n = \pi \cdot (0,166 5mm)^2$$

$$A_n = 0,087 mm^2$$

Cálculo del recorrido de la fricción

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot rpm}{60 000}$$

$$v = \frac{\pi \cdot 15mm \cdot 400}{60 000}$$

$$v = 0,314 m/s$$

$$Sf = v \cdot t$$

$$Sf = (0,314m/s) \cdot (3 600s)$$

$$Sf = 1 130,4 m = 1 130 400 mm$$

Cálculo de la intensidad gravimétrica de desgaste

$$I_g = \frac{g}{1 130 400 mm \cdot 0,087 mm^2}$$

$$I_g = \frac{g}{98344,8 mm^3}$$

Cálculo de la velocidad o razón de desgaste

$$W = \frac{g}{t} \quad (12)$$

$$W = \frac{g}{60 min.}$$

4.8.3. Análisis de resultado

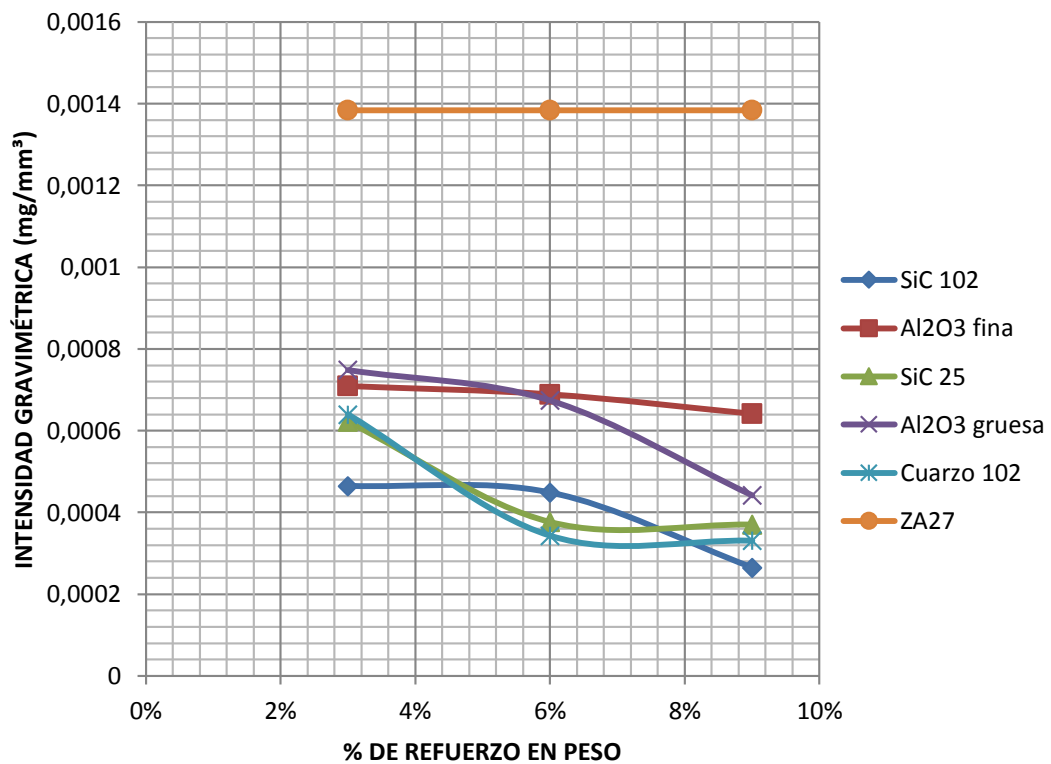
Tabla 33. Resultados obtenidos en el ensayo de desgaste

Aleacion	Pérdida de masa [mg]	Intensidad gravimétrica de desgaste [mg/mm ³]	Velocidad de desgaste [mg/min.]
ZA27	136,1	0,001 383 91	2,268 333 33
ZA27 - SiC 102µm al 3%	45,7	0,000 464 69	0,761
ZA27 - SiC 102µm al 6%	44,1	0,000 448 42	0,735
ZA27 - SiC 102µm al 9%	26,1	0,000 265 39	0,435
ZA27 - Al ₂ O ₃ fina al 3%	69,8	0,000 709 75	1,163
ZA27 - Al ₂ O ₃ fina al 6%	67,8	0,000 689 41	1,130
ZA27 - Al ₂ O ₃ fina al 9%	63,1	0,000 641 62	1,051
ZA27 - SiC 25µm al 3%	61,2	0,000 622 30	1,020
ZA27 - SiC 25µm al 6%	37,1	0,000 377 24	0,618
ZA27 - SiC 25µm al 9%	36,5	0,000 371 14	0,608
ZA27 - Al ₂ O ₃ gruesa al 3%	73,6	0,000 748 39	1,226
ZA27 - Al ₂ O ₃ gruesa al 6%	66,3	0,000 674 16	1,105
ZA27 - Al ₂ O ₃ gruesa al 9%	43,5	0,000 442 32	0,725
ZA27 - Cuarzo 120µm al 3%	62,9	0,000 639 59	1,048
ZA27 - Cuarzo 120µm al 6%	33,8	0,000 343 69	0,563
ZA27 - Cuarzo 120µm al 9%	32,6	0,000 331 49	0,543

Fuente: Autores

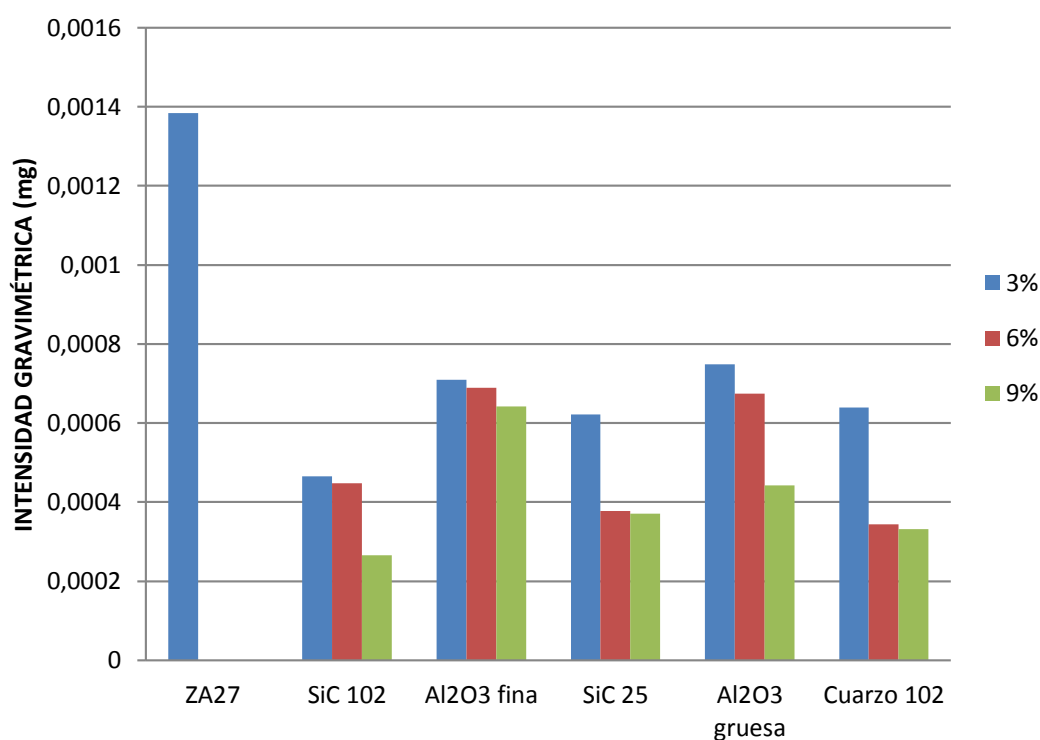
Intensidad gravimétrica de desgaste

Figura 71. Intensidad gravimétrica de desgaste



Fuente: Autores

Figura 72. Intensidad gravimétrica de desgaste (grafica de barras)



Fuente: autores

La gráfica de la Figura 72 muestra que la intensidad gravimétrica para las aleaciones ZA27 con refuerzos cerámicos se incrementa a medida que lo hacen los porcentajes de partículas 3%, 6% y 9%.

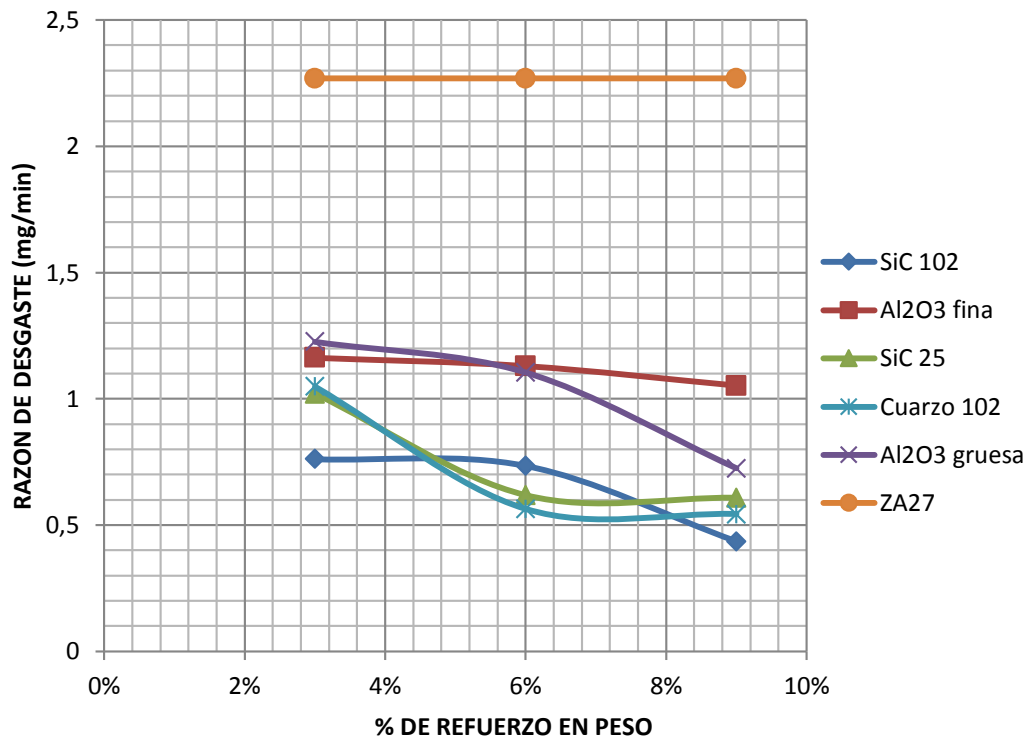
La adición de partículas de carburo de silicio de 102 μm es la que presenta mayor incremento de la resistencia al desgaste en relación con los otros grupos de refuerzos. Siendo la aleación con 9% de refuerzos la que presenta la mejor propiedad anti-desgaste, aunque no dista significativamente de la reforzada con 3%, con lo que se puede decir que el material que presenta las mejores propiedades en relación al refuerzo/desgaste es la aleación reforzada con 3% de partículas cerámicas de SiC de 102 μm .

Solo para requerimientos donde la resistencia al desgaste sea un factor determinante, el material con 9% de refuerzos es la mejor opción.

En cuanto al tamaño, las partículas que están cerca de los 100 μm muestran mejores propiedades y disminución de la intensidad gravimétrica en especial para concentraciones en peso del 9% en esta se incluye el cuarzo que también ha demostrado ser un refuerzo cerámico que aporta buena resistencia al desgaste.

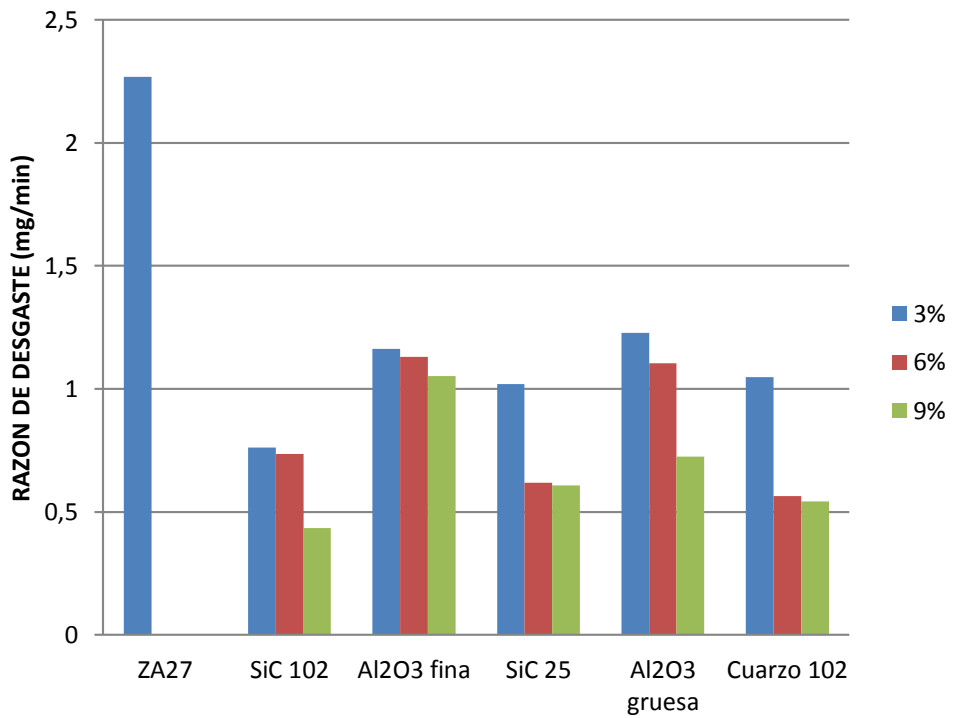
Razón de desgaste

Figura 73. Razón de desgaste



Fuente: Autores

Figura 74: Razón de desgaste (grafica de barras)



Fuente: Autores

Al ser la razón de desgaste una función de la pérdida de masa, el análisis de resultados presenta las mismas características que la intensidad gravimétrica para las diferentes aleaciones estudiadas.

4.9. Ensayos de resistencia mecánica en probetas cilíndricas

Para realizar el presente ensayo se procedió a preparar las probetas de ZA 27 con las dimensiones que indica la norma ASTM E8 para ensayos a tracción en la máquina universal.

Tabla 34: Resistencia mecánica de la aleación ZA 27

Probeta	Resistencia mecánica [MPa]
1	126
2	133
3	128
Promedio	129

Fuente: Autores

La resistencia mecánica obtenida para el material ZA 27 sin partículas de refuerzo es de 129 MPa, no distando mucho del valor encontrado en la literatura que es de 160 MPa.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Obtención de la aleación

La obtención de la aleación ZA27 reforzado con partículas cerámicas está fuertemente influenciada por la adición de magnesio al metal fundido y la generación de un vórtice, el primero aumentar la humectación y el segundo como método de inclusión.

La adición de magnesio de 0,7 % en peso es ideal para incluir partículas cerámicas en aleaciones que contengan zinc y aluminio además evita la aglomeración y precipitación de partículas.

Microestructura

La microestructura del metal base muestra una estructura dendrítica comprendida por dendritas primarias γ ricas en aluminio rodeadas por un eutectoide $\gamma+\beta$ y una fase residual β rica en zinc de color gris más claro.

Las fases de la microestructura en la matriz de los materiales con refuerzos cerámicos es la misma que se encuentra en el metal base sin refuerzo.

En las aleaciones con refuerzos de partículas cerámicas más finas se pudo observar que estas se encuentran en su mayoría ubicadas en el límite de grano, mientras que para las partículas más gruesas se encuentran distribuidas arbitrariamente en la aleación.

Se observó una buena distribución de las partículas dentro del material fundido, sin presencia de aglomeraciones.

Dureza

La dureza del material reforzado con partículas cerámicas aumenta en comparación

con la del material base.

La dureza se incrementa a medida que se adiciona mayor cantidad de partículas a la aleación.

Entre los distintos grupos cerámicos utilizados como refuerzos en esta investigación se observa que el SiC de 102 μm es el que presenta mejoras más significativas en comparación con los demás compuestos en las propiedades de dureza.

Aunque la mejor propiedad se presenta con la adición del 9% de estos refuerzos, se considera que la aleación con 3% de refuerzos es el material más conveniente debido a que con menos partículas de aporte se obtienen durezas muy significativas en comparación con el metal base.

Ensayo de resistencia al impacto

La resistencia al impacto se ve afectada con la adición de refuerzos de partículas cerámicas a la aleación haciendo que esta sea más frágil.

Ensayo de desgaste

La tasa de desgaste de las aleaciones de ZA27 que incluyen partículas cerámicas es inferior a la de la aleación sin refuerzos.

Al incrementar el porcentaje en peso de los refuerzos de partículas cerámicas de la aleación en 0%,3%,6% y 9%, el coeficiente gravimétrico disminuye en relación al metal sin partículas, lo que indica que la inclusión de estos refuerzos aporta una mejor propiedad anti desgaste.

Las aleaciones ZA27 reforzadas con partículas de SiC tienen una mayor resistencia al desgaste en comparación con las otras aleaciones, siendo la más representativa la aleación ZA27 que contiene partículas de SiC de 102 μm con tasas de intensidad gravimétrica que están por debajo de los valores que muestran las otras aleaciones, llegando hasta una tasa igual a la quinta parte de la intensidad gravimétrica de la ZA27 sin refuerzos.

Se observa la tendencia de que cuando se aumenta el tamaño de las partículas la

resistencia al desgaste mejora.

El material que presenta las características más atractivas tanto en propiedades de dureza como en las propiedades de desgaste, es la aleación reforzada con el 3% de partículas cerámicas de SiC de 102 μm .

Analizando los resultados obtenidos se observa que no existe una relación directa entre el incremento de dureza y resistencia al desgaste.

Así mismo se observa que no existe una relación directa entre la resistencia al impacto y el incremento de dureza.

5.2. Recomendaciones.

Se debe evitar sobrepasar la temperatura de colado de la masa fundida debido a que se genera una excesiva porosidad en la aleación.

Se recomienda una investigación futura sobre la adhesión de partículas cerámicas a la matriz fundida así como la eficacia del magnesio como agente humectante.

Los estudios e investigaciones sobre este tipo de aleaciones son limitados, y aún más con refuerzos de partículas cerámicas, por lo cual sería de gran importancia continuar con el estudio de la misma e investigar nuevas aplicaciones potenciales.

La aplicación de tratamientos térmicos a este tipo de aleaciones reforzadas es un tema que tiene muy poca investigación, por lo que propone como tema de estudios en un proyecto.

El refuerzo con partículas de cuarzo muestra propiedades antidesgaste muy atractivas, por lo cual sería de mucha importancia continuar con la investigación y estudios de este tema, considerando que el precio de este material de refuerzo es inferior al de las otras partículas usadas en este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- Aleaciones Base Zinc como materiales alternativos para la fundición.* **BALANZA, E. Rodny.** 1993. [ed.] Jaime Rocha Valenzuela y José Montecinos. 4, La Paz : s.n., Octubre de 1993, Reporte Metalurgico, págs. 9-11.
- Alloy Composites Reinforced wit Al₂O₃ Particles.* **S. MITROVIĆ, M. BABIĆ, I. BOBIĆ. ZA-27.**
- ÁLVAREZ, G. Emilio.** 2015. <http://l.sb-10.com/>. [En línea] 15 de Julio de 2015. [Citado el: 17 de Septiembre de 2015.]
- Corrosion de la Aleacion zinalco en la atmosfera de fluor.* **ELIZALDE, Torres J., y otros.** 1997. [ed.] José Valderrama. 4, Mexico : s.n., 1997, Vol. 8, págs. 87-91. ISSN 0716-8756.
- DeGARMO, E.P., BLACK, J. T. y KHOSER, R.A.** 2002. *Materiales y procesos de fabricación.* Segunda edición. Barcelona : Editorial Reverte S.A., 2002. Vol. Volumen 1.
- Desgaste por deslizamiento lubricado en Zn-27 % wt. Al.Efecto de distintos refuerzos.* **FORLERERA, E., y otros.** 2001. Septiembre de 2001, Jornadas SAM – CONAMET – AAS.
- Dry Sliding Wear Behaviour of Garnet Particles Reinforced Zinc-Aluminium Alloy Metal Matrix Composites.* **Mukundadas PRASANNA KUMAR, Kanakuppi SADASHIVAPPA, Gundenahalli Puttappa PRABHUKUMAR, Satyappa BASAVARAJAPPA.** 2006. 3, s.l. : MATERIALS SCIENCIE, 2006, Vol. 12.
- Ecuared.** Ecuared. *Ecuared.* [En línea] <http://www.ecured.cu>.
- Grupo Industrial C&C - Oxido Metal S.A.**
http://www.grupoindustrial.com.ar/es/zamac_especificaciones.pdf. [En línea]
<http://www.grupoindustrial.com.ar>.
- MECHANICAL PROPERTIES OF AS-CAST ZA27/Gr/SiCp HYBRID COMPOSITE FOR THE APPLICATION OF JOURNAL BEARING.* **KIRAN, T. S., M. PRASANNA KUMAR, BASAVARAJAPPA, S., VISHWANATHA, B. M.** 2013. s.l. : Journal of Engineering Science and Technology., 2013, Vol. 8, págs. 557-565.
- Microestructura, estabilidad dimensional y comportamiento al desgaste de aleaciones zinc aluminio/SiC (MMC).* **AURAS, R. y SCHVEZOV, C.** Agosto 2000. s.l. : Jornadas SAM 2000 - IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, Agosto 2000.
- Microstructures and Mechanical Properties of ZA27-Al₂O₃ Composites Obtained by Powder Metallurgy Process. Science of Sintering,.* **BOŽIĆ, D. y STAŠLIĆ, V. Rajković.** 2011. 43, 2011, págs. 63 - 70.

MOTT, Robert. 2006. *Diseño de elementos de máquinas*. 4 edición . s.l. : Pearson educación, 2006.

PRESAS, Mata Marina. 2003 - 2004. *Microestructura y propiedades mecánicas del SiC biomórfico*. Madrid : s.n., 2003 - 2004.

SCHMID, Serope Kalpakjian – Steven. *Manufactura, Ingeniería y tecnología*. 4ta Edición. . pág. Pag. 310.

Schmid, Serope Kalpakjian – Steven. *Manufactura, Ingeniería y tecnología*. 4ta Edición. .

SRIMANT, Kumar Mishra. 2012. *Processing, Characterization and erosion wear response of particulate* . National Institute of Technology Rourkela. 2012.

The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy. **HASHIM, J., LOONEY, L. y HASHIM, M.S.J. 2001.** Dublin : s.n., 2001, Journal of Material Processing Technology .

Tratamientos térmicos aplicables a las aleaciones hipereutectoides zinc - aluminio con un 22 - 27% de aluminio. **MARULANDA, Jose L. y ZAPATA, M.A. Alberto. 2007.** 34, Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, Mayo de 2007, Scientia Et Technica, Vol. XIII. ISSN 0122-1701.

Wear Behaviour of Hybrid ZA27/SiC/Graphite Composites. **MITROVIĆ, Slobodan, y otros. 2013.** Sofia : s.n., 2013, Tribological Journal BULTRIB, Vol. III.