

## Tabla de contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	Antecedentes generales.....	2
1.1.1.	Fundición Blanca.....	2
1.2.	Motivación.....	2
1.3.	Objetivos y alcances.....	3
1.3.1.	Objetivo general.....	3
1.3.2.	Objetivos específicos.....	3
1.3.3.	Alcances.....	3
2.	Antecedentes.....	4
2.1.	Aceros de fundición blanca.....	5
2.1.1.	Características principales.....	5
2.1.2.	Microestructura y propiedades mecánicas.....	5
2.2.	Desgaste abrasivo.....	7
3.	Metodología experimental.....	9
3.1.	Procedimiento experimental.....	11
3.1.1.	Materiales.....	11
3.1.2.	Equipos utilizados.....	12
3.1.3.	Manufactura de fundiciones blancas.....	12
3.1.4.	Preparación de probetas.....	13
3.1.5.	Caracterización de aleaciones.....	13
3.1.6.	Evaluación de propiedades mecánicas.....	14
3.1.7.	Análisis de desgaste abrasivo.....	16
4.	Resultados y discusión.....	18
4.1.	Análisis microestructural.....	18
4.1.1.	Microscopía Óptica.....	18
4.1.2.	Microscopía Electrónica de Barrido.....	21
4.1.3.	Análisis de DRX.....	30
4.2.	Análisis de propiedades mecánicas.....	31
4.2.1.	Dureza.....	31
4.2.2.	Resistencia al impacto.....	34
4.3.	Análisis de resistencia al desgaste por abrasión.....	34
4.3.1.	Tasa de desgaste según norma ASTM G65.....	34
4.3.2.	Análisis de micromecanismos de desgaste.....	38
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	41

5.1.	Conclusiones .....	41
5.2.	Recomendaciones .....	42
5.3.	Bibliografía .....	43
Anexo A.	Imágenes Microscopía Óptica .....	45
Anexo B.	Microscopía Electrónica de Barrido .....	52
Anexo C.	Mapas de composición elemental (EDS).....	59
Anexo D.	Mapas de composición global (SEM) .....	66
Anexo E.	Análisis puntual (EDS).....	71
Anexo F.	Fotografías de mecanismo de desgaste (SEM).....	89
Anexo G.	Datos microdureza Vickers .....	92
Anexo H.	Datos propiedades mecánicas y resistencia al desgaste.....	95

## Índice de tablas

Tabla 2.1: Requerimientos químicos para fundiciones de acero resistentes a la abrasión .....	5
Tabla 3.1: Metodología – Etapa 1. ....	9
Tabla 3.2: Metodología – Etapa 2. ....	9
Tabla 3.3: Metodología – Etapa 3. ....	9
Tabla 3.4: Fundiciones blancas con diferentes porcentajes de Mo. ....	10
Tabla 3.5: Fundiciones blancas con diferentes porcentajes de V. (*Estimado) .....	10
Tabla 3.6: Composición química fundiciones a estudiar. (*Estimado).....	12
Tabla 3.7: Composición fundiciones blancas con diferentes porcentajes en peso de Mo y V. (*Estimado) .....	13
Tabla 4.1: Resumen valores totales promedio (5 muestras).....	35
Tabla E.1: Composición porcentual - Zona 1 – M.1 .....	71
Tabla E.2: Composición porcentual - Zona 2 – M.1 .....	72
Tabla E.3: Composición porcentual - Zona 3 – M.1 .....	73
Tabla E.4: Composición porcentual - Zona 4 – M.1 .....	74
Tabla E.5: Composición porcentual - Zona 1 – M.3 .....	75
Tabla E.6: Composición porcentual - Zona 2 – M.3 .....	76
Tabla E.7: Composición porcentual - Zona 3 – M.3 .....	77
Tabla E.8: Composición porcentual - Zona 4 – M.3 .....	78
Tabla E.9: Composición porcentual - Zona 5 – M.3 .....	79
Tabla E.10: Composición porcentual - Zona 6 – M.3 .....	80
Tabla E.11: Composición porcentual - Zona 1 – M.3 V.1 .....	81
Tabla E.12: Composición porcentual - Zona 2 – M.3 V.1 .....	82
Tabla E.13: Composición porcentual - Zona 3 – M.3 V.1 .....	83
Tabla E.14: Composición porcentual - Zona 1 – M.3 V.2 .....	84
Tabla E.15: Composición porcentual - Zona 2 – M.3 V.2 .....	85
Tabla E.16: Composición porcentual - Zona 3 – M.3 V.2 .....	86
Tabla E.17: Composición porcentual - Zona 4 – M.3 V.2 .....	87
Tabla E.18: Composición porcentual - Zona 5 – M.3 V.2 .....	88
Tabla G.1: Resultados ensayos de dureza Vickers M.1 (1.0% Mo).....	92
Tabla G.2: Resultados ensayos de dureza Vickers M.1.5 (1.5% Mo).....	92
Tabla G.3: Resultados ensayos de dureza Vickers M.3 (3.0% Mo).....	93
Tabla G.4: Resultados ensayos de dureza Vickers M.3-V.1 (3.0% Mo 1.0% V). ....	93
Tabla G.5: Resultados ensayos de dureza Vickers M.3-V.2 (3.0% Mo 2.0% V). ....	94
Tabla H.1: Resumen valores acumulativos promedio muestra M.1.....	95
Tabla H.2: Resumen valores acumulativos promedio muestra M.1.5.....	95
Tabla H.3: Resumen valores acumulativos promedio muestra M.3.....	95
Tabla H.4: Resumen valores acumulativos promedio muestra M.3 V.1.....	95
Tabla H.5: Resumen valores acumulativos promedio muestra M.3 V.2.....	96
Tabla H.6: Distribución porcentual de área de carburos. ....	96
Tabla H.7: Resultados ensayos de dureza Rockwell C. ....	96
Tabla H.8: Resultados ensayos de impacto Charpy. ....	97

## Índice de figuras

Figura 2.1: Ejemplo microestructura fundiciones blancas [elaboración propia].....	4
Figura 2.2: Tasa de desgaste en fundiciones blancas con distintos contenidos de cromo [7].....	4
Figura 2.3: Diagrama explicativo del desgaste abrasivo [elaboración propia].....	7
Figura 2.4: Desgaste en chancador de cono [18].....	8
Figura 2.5: Impulsor de bomba de pulpa mineral [19].....	8
Figura 3.1: Diagrama de flujo de la metodología experimental.....	10
Figura 3.2: Diagrama de flujo del procedimiento experimental.....	11
Figura 3.3: Probetas (izquierda: metalografía corte transversal – Derecha: desgaste abrasivo) ...	13
Figura 3.4: Esquema indentación Vickers.....	15
Figura 3.5: Equipo para ensayos de desgaste (norma ASTM-G65).....	16
Figura 3.6: Arena de sílice utilizada en el ensayo de desgaste (norma ASTM-G65).....	16
Figura 4.1: Muestra M.1 – izquierda: 10x   derecha: 100x.....	18
Figura 4.2: Muestra M.1.5 – izquierda: 10x   derecha: 100x.....	18
Figura 4.3: Muestra M.3 – izquierda: 10x   derecha: 100x.....	19
Figura 4.4: Muestra M.3 V.1 – izquierda: 10x   derecha: 100x.....	19
Figura 4.5: Muestra M.3 V.2 – izquierda: 10x   derecha: 100x.....	19
Figura 4.6: Distribución porcentual de área de carburos.....	20
Figura 4.7: Muestra M.1 – izquierda BSE: 50 $\mu\text{m}$   derecha BSE: 30 $\mu\text{m}$ .....	21
Figura 4.8: Muestra M.1.5 – izquierda BSE: 50 $\mu\text{m}$   derecha BSE: 30 $\mu\text{m}$ .....	21
Figura 4.9: Muestra M.3 – izquierda BSE: 50 $\mu\text{m}$   derecha BSE: 10 $\mu\text{m}$ .....	22
Figura 4.10: Muestra M.3 V.1 – izquierda BSE: 50 $\mu\text{m}$   derecha BSE: 20 $\mu\text{m}$ .....	22
Figura 4.11: Muestra M.3 V.2 – izquierda BSE: 50 $\mu\text{m}$   derecha BSE: 10 $\mu\text{m}$ .....	22
Figura 4.12: Mapa de composición elemental - Muestra M.1.....	23
Figura 4.13: Mapa de composición elemental - Muestra M.1.5.....	24
Figura 4.14: Mapa de composición elemental - Muestra M.3.....	25
Figura 4.15: Mapa de composición elemental - Muestra M.3 V.1.....	26
Figura 4.16: Mapa de composición elemental - Muestra M.3 V.2.....	27
Figura 4.17: Análisis puntual de composición carburo - Muestra M.1.....	28
Figura 4.18: Análisis puntual de composición matriz - Muestra M.1.....	28
Figura 4.19: Análisis puntual de composición carburo - Muestra M.3-V.1.....	29
Figura 4.20: Análisis puntual de composición matriz - Muestra M.3-V.2.....	29
Figura 4.21: Análisis puntual de composición fase Mo - Muestra M.3-V.2.....	30
Figura 4.22: Difractograma fundiciones blancas con fases indexadas.....	30
Figura 4.23: División por zonas de cada muestra (perfil transversal).....	31
Figura 4.24: Fotografía microindentación Dureza Vickers.....	31
Figura 4.25: Resultados ensayos de microdureza Vickers HV0.2.....	32
Figura 4.26: Resultados ensayos de microdureza Vickers HV2.0.....	32
Figura 4.27: Resultados ensayos de dureza Rockwell C.....	33
Figura 4.28: Microdureza Vickers / Fracción volumétrica de carburos.....	33
Figura 4.29: Resultados ensayos de impacto Charpy.....	34
Figura 4.30: Probetas de desgaste posterior al ensayo de desgaste por abrasión según norma ASTM G65.....	34
Figura 4.31: Pérdida de masa vs distancia de deslizamiento.....	36
Figura 4.32: Pérdida de volumen vs distancia de deslizamiento.....	36
Figura 4.33: Tasa de desgaste vs distancia de deslizamiento.....	36

Figura 4.34: Comparación de la tasa de desgaste y la fracción volumétrica de carburos para las cinco fundiciones blancas de estudio.....	37
Figura 4.35: Comparación de la tasa de desgaste y la dureza Vickers para las cinco fundiciones blancas de estudio.....	37
Figura 4.36: Muestra M.1 – izquierda: 50 $\mu\text{m}$   derecha: 10 $\mu\text{m}$ .....	38
Figura 4.37: Muestra M.1.5 – izquierda: 50 $\mu\text{m}$   derecha: 10 $\mu\text{m}$ .....	38
Figura 4.38: Muestra M.3– izquierda: 10 $\mu\text{m}$   derecha: 10 $\mu\text{m}$ .....	39
Figura 4.39: Muestra M.3 V.1 – izquierda: 50 $\mu\text{m}$   derecha: 10 $\mu\text{m}$ .....	39
Figura 4.40: Muestra M.3 V.2 – izquierda: 50 $\mu\text{m}$   derecha: 10 $\mu\text{m}$ .....	40