

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Motivación y antecedentes generales	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Alcances	3
2	Metodología	4
3	Antecedentes específicos	6
3.1	Antecedentes de las teorías a utilizar	6
3.1.1	Enfoque de falla por fatiga	6
3.1.2	Mecánica de la fractura	13
3.2	Antecedentes de los molinos de bolas	19
3.2.1	Componentes de un molino de bolas	19
3.2.2	Volumen de carga	19
3.2.3	Altura de la carga	20
3.2.4	Ángulo de levantamiento de la carga	20
3.3	Características del molino de bolas a estudiar	21
3.3.1	Propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados	21
3.3.2	Condiciones de operación del molino	21
4	Resultados	22
4.1	Modelos CAD de las piezas del molino y del ensamblaje	22
4.1.1	Cuerpo del molino	22
4.1.2	Trunnions	23
4.1.3	Trunnion con desgaste	24
4.1.4	Trunnion con desgaste y fisura	25
4.1.5	Corona	25
4.1.6	Liners del cuerpo del molino	27
4.1.7	Liners de la tapa	28
4.1.8	Cilindro con hélice interior	29
4.1.9	Modelo CAD del ensamble del molino	30
4.2	Cargas que actúan en el molino y determinación de las reacciones	31
4.2.1	Peso del molino vacío	31
4.2.2	Potencia de accionamiento del molino	32
4.2.3	Fuerza del material procesado	32
4.2.4	Presión en los trunnions	33
4.3	Construcción de los modelos en COMSOL	34
4.3.1	Importación del modelo CAD de Inventor a COMSOL	35
4.3.2	Sistemas de referencia auxiliares	35
4.3.3	Aplicación de cargas	36
4.3.4	Condiciones de borde	39
4.3.5	Mallado	40
4.4	Resultados de los estudios	41
4.4.1	Primer caso: Molino con el trunnion sin desgaste ni fisura	41
4.4.2	Segundo caso: Molino con trunnion con desgaste interior	46
4.4.3	Tercer caso: Molino con trunnion con desgaste interior y fisura	49

4.5 Evaluación de resistencia a la fatiga.....	55
4.5.1 Límite de resistencia a la fatiga modificado para el trunnion.....	55
4.5.2 Evaluación de la vida a la fatiga del primer caso	55
4.5.3 Evaluación de la vida a la fatiga del segundo caso.....	56
4.6 Evaluación del crecimiento de grieta.....	57
4.6.1 Punta de la fisura en la superficie interior del trunnion del lado molino IM.....	57
4.6.2 Punta de la fisura en la superficie interior del trunnion del lado salida IS	59
4.6.3 Punta de la fisura en la superficie exterior del trunnion del lado molino EM	60
4.6.4 Punta de la fisura en la superficie exterior del trunnion del lado molino ES	61
5 Discusión.....	62
5.1 Modelos CAD de las piezas y ensamblajes	62
5.2 Construcción del modelo	62
5.3 Evaluación de la vida a la fatiga con y sin desgaste del trunnion	63
5.4 Evaluación del crecimiento de grieta.....	65
5.5 Propuesta de solución	66
6 Conclusiones.....	67
Bibliografía.....	69
Anexos.....	70
Anexo A : Planos e imagenes correspondientes a la geometría del molino.....	70
Anexo A.1: Vista en corte del molino sin corona.....	70
Anexo A.2: Vista en corte de la mitad inferior del trunnion	71
Anexo A.3: Vista en corte del cilindro con hélice interior.....	72
Anexo B: Determinación de las fuerzas sobre la corona.....	73
Anexo C: Modelación de presión de la carga del molino.....	75
Anexo D: Determinación de reacciones en los trunnions.....	79
Anexo E: Determinación de la presión en los trunnions.....	82