

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA	2
1.4. OBJETIVOS	2
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.5. ALCANCES	3
1.6. METODOLOGÍA	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. NEUMÁTICOS OFF THE ROAD Y SUS CARACTERÍSTICAS	5
2.1.1. DEFINICIÓN	5
2.1.2. COMPOSICIÓN	5
2.1.3. ESTRUCTURA DE UN NEUMÁTICO	6
2.2. RECICLAJE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO	7
2.2.1. NORMATIVA ACTUAL	7
2.2.1.1. LEY REP	7
2.2.1.2. CATEGORIZACIÓN SEGÚN LA NORMATIVA	8
2.2.2. METAS DE VALORIZACIÓN	8
2.2.3. CONCEPTOS	9
2.2.4. TÉCNICAS DE RECICLAJE	10
2.2.4.1. REDUCCIÓN DE TAMAÑO	10
2.2.4.2. PIRÓLISIS	11
2.2.4.3. DESVULCANIZACIÓN	13
2.3. OZONO	13
2.3.1. CONTEXTO	13
2.3.2. PROPIEDADES	13
2.3.2.1. ESTRUCTURA MOLECULAR	14
2.3.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS	14
2.3.2.3. PROPIEDADES QUÍMICAS	16
2.3.3. TIPOS DE OZONO	18
2.3.3.1. OZONO ESTRATOSFÉRICO	18
2.3.3.2. OZONO TROPOSFÉRICO	18
2.3.4. GENERACIÓN DE OZONO	18
2.3.4.1. EFECTO CORONA	19
2.3.4.2. PLASMA	19
2.3.5. APLICACIONES DEL OZONO	20
2.3.5.1. OZONO COMO POTABILIZADOR DE AGUA	20
2.3.5.2. OZONO EN LA DEGRADACIÓN DE NEUMÁTICOS	20

3. METODOLOGÍA	22
3.1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	22
3.2. FASE EXPERIMENTAL	22
3.2.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO	24
3.2.2. MUESTRAS	25
3.2.3. DISEÑO FACTORIAL	25
3.2.4. ELECCIÓN DE LAS MUESTRAS	26
3.2.5. GENERADOR DE OZONO	26
3.2.6. CONCENTRACIÓN DE OZONO	26
3.2.7. TENSIÓN A LA CUAL SE SOMETE EL NEUMÁTICO	27
3.2.8. FRACTURAMIENTO DEL NEUMÁTICO	27
3.3. FASE ECONÓMICA	28
3.3.1. ESTRUCTURA Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA	28
3.3.2. ESTUDIO DE MERCADO	28
3.3.3. VIABILIDAD DEL PROYECTO	29
3.3.4. ANÁLISIS DE RIESGOS	29
4. RESULTADOS	30
4.1. FASE EXPERIMENTAL	30
4.1.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO	30
4.1.2. DISEÑO FACTORIAL	32
4.1.3. CLUSTERING DE MUESTRAS	33
4.1.4. CÁLCULO DE LA TENSIÓN	35
4.1.5. APLICACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL	35
4.1.5.1. REGRESIÓN FACTORIAL GENERAL	36
4.1.5.2. GRÁFICAS PARA EL FRACTURAMIENTO	41
4.2. FASE ECONÓMICA	43
4.2.1. ESTRUCTURA DE LA PLANTA	43
4.2.2. LOCALIZACIÓN	44
4.2.3. ESTUDIO DE MERCADO	45
4.2.3.1. ANÁLISIS LEGAL	45
4.2.3.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA	46
4.2.3.3. ANÁLISIS DE LA OFERTA	47
4.2.4. VIABILIDAD ECONÓMICA	48
4.2.4.1. PARIDAD CAMBIARÍA	48
4.2.4.2. INVERSIONES	48
4.2.4.3. GASTOS OPERACIONALES	50
4.2.4.4. CAPEX Y OPEX	51
4.2.4.5. INGRESOS	52
4.2.4.6. OPCIÓN DE FINANCIAMIENTO	53
4.2.4.7. FLUJOS DE CAJA	54
4.2.4.8. INDICADORES ECONÓMICOS	56
4.2.5. ANÁLISIS DE RIESGOS	57
4.2.5.1. ENTRADAS	57
4.2.5.2. SALIDAS	58
4.2.5.3. ESTADÍGRAFOS	59
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	62
5.1. FASE EXPERIMENTAL	62
5.1.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO	62
5.1.2. CLUSTERING DE MUESTRAS	62
5.1.3. DISEÑO FACTORIAL	63
5.1.3.1. COEFICIENTES DEL MODELO Y VARIANZA	63
5.1.3.2. GRÁFICAS	64

5.2. FASE ECONÓMICA	66
5.2.1. VIABILIDAD ECONÓMICA	66
5.2.2. ANÁLISIS DE RIESGOS	67
6. CONCLUSIONES	69
6.0.1. RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71
A. ANEXO	73
A.1. DISEÑO FACTORIAL	73
A.1.1. COEFICIENTES DEL MODELO	73
A.1.1.1. COEFICIENTES	73
A.1.1.2. ERRORES	74
A.1.1.3. VALOR T	74
A.1.1.4. FIV	74
A.1.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA	74
A.1.2.1. ANÁLISIS DE YATES	74
A.1.2.2. CUADRADOS MEDIOS	75
A.1.2.3. PRUEBA DE FISHER	75
A.1.2.4. VALOR P	75
A.2. CLUSTERING O AGRUPAMIENTO	76
A.2.1. TIPOS DE AGRUPAMIENTO	77
B. APÉNDICE	78
B.1. TABLAS	78
B.2. FIGURAS Y GRÁFICOS	82
B.3. FOTOGRAFÍAS	87

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Composición típica de los neumáticos (Convención de Basilea, 1999).	6
2.2. Composición química de los neumáticos (<i>Bundesamt für Umwelt</i> , 2003).	6
2.3. Metas de valorización para neumáticos mineros categoría A (Decreto N° 8, 2019).	9
2.4. Metas de valorización para neumáticos mineros categoría B (Decreto N° 8, 2019).	9
2.5. Constantes físicas del Ozono (Deniss Klauson).	15
4.1. Tiempo de fracturamiento de pruebas exploratorias.	31
4.2. Diseño factorial completo de dos factores.	32
4.3. Partición final de agrupamiento de las muestras.	34
4.4. Centroides de grupo del agrupamiento de las muestras.	34
4.5. Centroides entre los respectivos grupos de muestras.	34
4.6. Muestras seleccionadas para el diseño factorial.	35
4.7. Tensiones a las cuales son sometidas las muestras.	35
4.8. Resultados de fracturamiento.	36
4.9. Coeficientes del modelo factorial.	37
4.10. Resumen del modelo factorial.	37
4.11. Análisis de la varianza del modelo.	38
4.12. Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes.	38
4.13. Resumen de productos de la pirólisis.	44
4.14. Inventario de Neumáticos Fuera de Uso (Alta Ley, 2021).	44
4.15. Plantas ubicadas en la segunda región.	48
4.16. Indicadores económicos diarios actuales.	48
4.17. Inversiones directas.	49
4.18. Inversiones indirectas.	49
4.19. Resumen del consumo energético de la planta de reciclaje.	50
4.20. Resumen del consumo de combustible.	50
4.21. Resumen de las remuneraciones.	51
4.22. Resumen del CAPEX.	51
4.23. Resumen del OPEX.	52
4.24. Resumen de precios por la venta de los productos generados en la pirólisis.	53
4.25. Resumen de ingresos.	53
4.26. Tabla de amortización del préstamo.	54
4.27. Flujo de caja sin financiamiento.	55
4.28. Flujo de caja con financiamiento.	56
4.29. Resumen de los indicadores económicos.	57
4.30. Resumen de INPUTS para el análisis de riesgos.	58
4.31. Resumen de OUTPUTS para el análisis de riesgos.	58
4.32. Resumen detallado para el VAN sin financiamiento.	60
4.33. Resumen de estadígrafos del análisis de riesgo.	61
B.1. Detalle de las muestras utilizadas.	78
B.2. Pasos de amalgamación del agrupamiento de muestras.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Partes que componen a un neumático (<i>Bridgestone</i>).	7
2.2. Diagrama de flujo de utilización de NFU.	10
2.3. Reacción química de la pirólisis de un neumático.)	11
2.4. Esquema de la pirólisis (Martinez, 2013.)	12
2.5. Estructuras de resonancia del Ozono (Deniss Klauson).	14
2.6. Estructuras de resonancia del Ozono (Deniss Klauson).	16
2.7. Formación de una molécula de Ozono (B Langlais).	19
2.8. Ejemplo de presión sobre el neumático (Kharkov Institute of Physics and Technology”).	21
2.9. Degradación versus tiempo del neumático expuesto a ozono (Kharkov Institute of Physics and Technology”).	21
3.1. Esquema de reactor de Ozono.	23
3.2. Rejilla para sujeción de trozos de neumáticos en tensión.	23
3.3. Esquema de la fase experimental.	24
3.4. Parámetro para la medición de alto, largo y ancho de las muestras.	25
4.1. Fotografías de distintos niveles de fracturamiento.	36
4.2. Diagrama de Pareto del modelo.	39
4.3. Histograma de la frecuencia y el residuo.	39
4.4. Gráfica de probabilidad normal del modelo.	40
4.5. Gráfica del residuo y el valor ajustado del modelo.	40
4.6. Gráfica del residuo y el orden de observación.	41
4.7. Gráfica de medias ajustadas del fracturamiento ante ambos factores.	41
4.8. Gráfica de interacción de medias ajustadas para ambos factores.	42
4.9. Diagrama propuesto para la planta de reciclaje.	43
4.10. Distancias a las principales faenas mineras.	45
4.11. Importaciones de neumáticos OTR por marca 2005-2019.	47
4.12. Neumáticos OTR importados según dimensión.	47
A.1. Ilustración de un agrupamiento subjetivo (Rui Xun, Don Wunsch).	76
B.1. Dendrograma del agrupamiento de las muestras.	82
B.2. Gráfica de probabilidad para el Aceite Pirolítico.	83
B.3. Gráfica de probabilidad para el Carbón <i>Black</i>	83
B.4. Gráfica de probabilidad para el Acero.	84
B.5. Gráfica de probabilidad para la Tasa Ecológica.	84
B.6. Gráfica para el VAN sin financiamiento simulado.	85
B.7. Gráfica para el TIR sin financiamiento simulado.	85
B.8. Gráfica para el VAN con financiamiento simulado.	86
B.9. Gráfica para el TIR con financiamiento simulado.	86
B.10. Fotografía de un trozo de neumático siendo sometido a una ozonificación intermitente.	87

B.11. Fotografía de un trozo de neumático siendo sometido a una inyección constante de ozono en un ambiente líquido de agua destilada.	87
B.12. Fotografía de un trozo de neumático siendo sometido a una inyección constante de ozono en un ambiente líquido de aceite vegetal.	88
B.13. Fotografía de un trozo de neumático siendo sometido a una inyección constante de ozono en un ambiente sin aditivos.	88
B.14. Fotografía de las muestras proporcionadas por <i>Metaproject</i>	89
B.15. Fotografía del tanque de oxígeno utilizado.	89
B.16. Fotografía del generador de ozono utilizado.	90
B.17. Fotografía del sensor de ozono utilizado.	90
B.18. Fotografía del reactor de ozonificación utilizado.	91
B.19. Fotografías de la primera situación de éxito.	91
B.20. Fotografía del sistema de tensión elaborado.	92