

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA. ....	3
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.6 ALCANCES DEL PROYECTO. ....	4
1.7 METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS. ....	5
1.7.1 Actividades etapa 1: Estudio y recopilación de información acerca del reciclaje en Chile y en la 7ª Región del Maule.....	5
1.7.2 Actividades etapa 2: Diseño y cálculo de la máquina trituradora.....	6
1.7.3 Actividades etapa 3: Evaluación económica y análisis de factibilidad. ....	6
1.8 RESULTADOS ESPERADOS. ....	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO. ....	8
2.1 PLÁSTICOS PET. ....	9
2.2 FABRICACIÓN DE LAS BOTELLAS PET.....	9
2.3 TRITURACIÓN. ....	10
2.4 PROCESO DE TRITURACIÓN MECÁNICA DE PET.....	10
2.5 TIPOS DE TRITURADORES.....	11
2.5.1 Molinos de altas revoluciones.....	11
2.5.2 Trituradores de bajas revoluciones.....	12
2.5.3 Desgarradores. ....	12
2.6 ALTERNATIVAS TRITURADORES DE PLÁSTICOS.....	13
2.6.1 Triturador con cuchillas montadas en el eje rotatorio y cuchillas fijas en la cámara de trituración.....	13
2.6.2 Triturador con rodillos de prensado. ....	14
2.6.3 Triturador de 4 árboles. ....	15
CAPÍTULO 3: CONTEXTO DEL RECICLAJE EN LA REGIÓN. ....	17
3.1 CIFRAS DE RECICLAJE EN CHILE. ....	18
3.2 CONSUMO DIARIO. ....	21

3.3	PRECIO DE COMPRA DEL PLÁSTICO. ....	22
3.4	USOS Y REUTILIZACIÓN DEL PLÁSTICO PET TRITURADO. ....	23
3.4.1	Madera plástica con PET. ....	23
3.5	LEY DEL RECICLAJE EN CHILE. ....	24
CAPÍTULO 4: DISEÑO MÁQUINA TRITURADORA DE PET. ....		26
4.1	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA MÁQUINA TRITURADORA. ....	27
4.2	PROPIEDADES MECÁNICAS POLIETILENTEREFTALATO. ....	28
4.2.1	Propiedades físicas y mecánicas. ....	28
4.2.2	Resistencia al corte de plástico PET. ....	29
4.3	FUNCIONAMIENTO DEL TRITURADOR. ....	30
4.4	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN. ....	31
4.5	CUCHILLAS PARA LA TRITURACIÓN. ....	32
4.5.1	Material cuchillas de corte. ....	33
4.5.2	Dimensionamiento y montaje cuchillas para corte. ....	35
4.6	DISEÑO DE ALETAS GIRATORIAS PORTA CUCHILLAS. ....	36
4.6.1	Carga en los extremos de las aletas. ....	36
4.6.2	Modelo de aletas y propiedades físicas. ....	39
4.6.3	Material de fabricación de la aleta. ....	40
4.6.4	Esfuerzo de flexión en la aleta. ....	41
4.6.5	Esfuerzo de corte en la aleta. ....	43
4.6.6	Deflexión en la aleta. ....	45
4.7	POTENCIA DE ACCIONAMIENTO. ....	46
4.7.1	Análisis de fuerzas dinámicas para calcular par de torsión en el eje. ....	46
4.7.2	Potencia de accionamiento. ....	52
4.7.3	Cálculo potencia de motor eléctrico. ....	53
4.7.4	Selección de motor eléctrico de accionamiento. ....	54
4.8	CÁLCULO Y SELECCIÓN DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA. ....	55
4.8.1	Factor de servicio. ....	56
4.8.2	Potencia de diseño. ....	57
4.8.3	Selección de secciones de correa. ....	57
4.8.4	Selección de poleas. ....	58
4.8.5	Largo de correa y centros entre poleas. ....	60

4.8.6 Selección de correa. ....	62
4.8.7 Potencia corregida por correa trapezoidal. ....	62
4.8.8 Número de correas.....	64
4.8.9 Cálculo de tensiones en la correa. ....	65
4.9 CÁLCULO DEL EJE ROTATORIO. ....	66
4.9.1 Fuerzas en el plano vertical del eje. ....	68
4.9.2 Fuerzas en el plano horizontal del eje.....	70
4.9.3 Cálculo momento resultante máximo.....	71
4.9.4 Factores límite de fatiga.....	72
4.9.5 Factor de resistencia de superficie <b><i>Ka</i></b> . ....	73
4.9.6 Factor de resistencia de tamaño <b><i>Kb</i></b> . ....	73
4.9.7 Factor de carga <b><i>Kc</i></b> .....	73
4.9.8 Factor de resistencia de temperatura <b><i>Kd</i></b> . ....	74
4.9.9 Factor de resistencia de efectos diversos <b><i>Ke</i></b> . ....	74
4.9.10 Factor de límite de resistencia a la fatiga <b><i>Sé</i></b> . ....	78
4.9.11 Cálculo del torque en el eje.....	78
4.9.12 Cálculo de diámetro de eje. ....	79
4.10 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE RODAMIENTOS. ....	80
4.11 SELECCIÓN SOPORTE RODAMIENTO.....	84
4.12 SELECCIÓN DE LA CHAVETA. ....	85
4.12.1 Comprobación de falla por corte de la chaveta. ....	87
4.12.2 Comprobación de falla por aplastamiento de la chaveta. ....	89
4.13 CÁLCULO ESTRUCTURA SOPORTANTE. ....	90
4.14 DISEÑO TOLVA DE ALIMENTACIÓN.....	98
4.15 DISEÑO CÁMARA DE TRITURACIÓN. ....	99
4.16 DISEÑO TAMIZ DE CERNIDO.....	101
4.17 DISEÑO TOLVA DE DESCARGA.....	102
4.18 DISEÑO DE LA PLACA SOPORTE DE MOTOR.....	103
4.19 SOLDADURA. ....	106
4.19.1 Soldadura Aletas de corte. ....	106
4.19.2 Soldadura tolva alimentación y descarga. ....	108
4.19.3 Soldadura cámara de trituración. ....	109

4.20 PERNOS.....	109
4.20.1 Pernos de cuchillas.....	110
4.20.2 Pernos de soporte de rodamiento.....	112
4.20.3 Pernos tolva de alimentación.....	112
4.20.4 Pernos cuchillas.....	113
4.20.5 Pernos cámara de trituración.....	113
4.21 AUTOMATIZACIÓN.....	113
4.21.1 Selección de botellas con sistema de detección.....	113
4.21.2 Montaje de los elementos mecánicos y electrónicos en la tolva de alimentación.....	118
4.21.3 Control del sistema.....	119
4.21.4 Diagrama del sistema de automatización.....	121
4.21.5 Guarda motor.....	122
4.22 MANTENIMIENTO DE LA TRITURADORA.....	123
4.22.1 Mantenimiento general periódico.....	123
4.22.2 Cambio de cuchillas.....	124
4.22.3 Ajuste entre rodamientos y el eje.....	125
4.22.4 Montaje de rodamientos.....	125
4.23 NÚMERO DE BOTELLAS Y MASA DE PET EN EL CONTENEDOR.....	126
4.24 PINTURA COMPONENTES DE LA MÁQUINA TRITURADORA.....	127
4.25 CABINA COBERTORA MÁQUINA TRITURADORA.....	127
4.26 INFORMACIÓN AL PÚBLICO.....	129
CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	130
5.1 COSTEO DE LA MÁQUINA Y FUNCIONAMIENTO.....	131
5.1.1 Costos de materiales y fabricación.....	131
5.1.2 Costos de funcionamiento y mantenimiento.....	133
5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA CON PRECIO DE COMPRA PROMEDIO DE PLÁSTICO.....	137
CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	140
6- RESULTADOS.....	141
6.1- CONCLUSIONES.....	143
REFERENCIAS.....	145
BIBLIOGRAFÍA.....	146
ANEXOS.....	145

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

ILUSTRACIÓN 1: PARTES TRITURADORA MECÁNICA.....	11
ILUSTRACIÓN 2: TRITURADOR CON EJE ROTOR DE 3 ALETAS, 2 CUCHILLAS FIJAS Y 3 MÓVILES.....	14
ILUSTRACIÓN 3: TRITURADOR CON RODILLOS DE PRENSADO. ....	15
ILUSTRACIÓN 4: TRITURADOR CON RODILLOS DE PRENSADO. ....	16
ILUSTRACIÓN 5: MADERA PLÁSTICA DE PET. ....	24
ILUSTRACIÓN 6: TRITURADOR CON EJE ROTOR DE 2 ALETAS, 2 CUCHILLAS FIJAS Y 2 MÓVILES.....	28
ILUSTRACIÓN 7: PROPIEDADES PET. ....	29
ILUSTRACIÓN 8: DISEÑO MÁQUINA TRITURADORA. ....	30
ILUSTRACIÓN 9: CUCHILLAS DE TRITURACIÓN.....	33
ILUSTRACIÓN 10: TABLA ACEROS RÁPIDOS. ....	34
ILUSTRACIÓN 11: DIMENSIONES DE CUCHILLA.....	35
ILUSTRACIÓN 12: MODELO DE ALETAS PORTA CUCHILLAS. ....	36
ILUSTRACIÓN 13: DIAGRAMA 2D ALETAS. ....	39
ILUSTRACIÓN 14: DIAGRAMA PARA UNA ALETA. ....	39
ILUSTRACIÓN 15: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE ALETA.....	42
ILUSTRACIÓN 16: DIMENSIONES SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA ALETA. ....	44
ILUSTRACIÓN 17: DIAGRAMA CUERPO LIBRE ALETA. ....	49
ILUSTRACIÓN 18: SELECCIÓN MOTOR ELÉCTRICO FERRAWAY.....	54
ILUSTRACIÓN 19: GRÁFICO SECCIÓN DE CORREA.....	58
ILUSTRACIÓN 20: GRÁFICO TABLA 15 CATÁLOGO GENERAL INSA. ....	61
ILUSTRACIÓN 21: POTENCIA CORREGIDA TABLA 13 CATÁLOGO GENERAL INSA. ....	63
ILUSTRACIÓN 22: MODELO DE EJE Y ALETAS PORTA CUCHILLAS. ....	67
ILUSTRACIÓN 23: CARGAS VERTICALES EN EL EJE.....	69
ILUSTRACIÓN 24: DIAGRAMA CUERPO LIBRE PLANO HORIZONTAL.....	70
ILUSTRACIÓN 25: GRÁFICO KT EN TORSIÓN. ....	76
ILUSTRACIÓN 26: GRÁFICO “Q” MUESCA. ....	77
ILUSTRACIÓN 27: SELECCIÓN DE RODAMIENTO SKF YAR 206-2F.....	84
ILUSTRACIÓN 28: SOPORTE BRIDA O SOPORTE RODAMIENTO FYTB 30 TF.....	85

ILUSTRACIÓN 29: CARGAS EN ESTRUCTURA SOPORTANTE.....	93
ILUSTRACIÓN 30: ÁNGULOS EN ESTRUCTURA SOPORTANTE.....	94
ILUSTRACIÓN 31: ÁNGULOS Y FUERZAS EN NODO D.....	94
ILUSTRACIÓN 32: SELECCIÓN DE PERFIL ESTRUCTURA.....	97
ILUSTRACIÓN 33: DISEÑO ESTRUCTURA SOPORTANTE.....	98
ILUSTRACIÓN 34: TOLVA DE ALIMENTACIÓN.....	99
ILUSTRACIÓN 35: CÁMARA DE TRITURACIÓN.....	100
ILUSTRACIÓN 36: TAPAS RANURAS CÁMARA DE TRITURACIÓN.....	101
ILUSTRACIÓN 37: TAMIZ DE CERNIDO.....	102
ILUSTRACIÓN 38: TOLVA DE DESCARGA.....	103
ILUSTRACIÓN 39: DISEÑO PLACA DE MOTOR.....	104
ILUSTRACIÓN 40: SOLDADURA VIGA EN FLEXIÓN.....	108
ILUSTRACIÓN 41: TOLVA DE ALIMENTACIÓN ABIERTA.....	114
ILUSTRACIÓN 42: DIAGRAMA DE FLUJO SISTEMA AUTOMATIZACIÓN.....	115
ILUSTRACIÓN 43: SENSOR DE PROXIMIDAD INFRARROJO.....	116
ILUSTRACIÓN 44: SENSOR INDUCTIVO.....	116
ILUSTRACIÓN 45: SENSOR DE PESO ARDUINO FSR INTERLINK MODELO 406.....	117
ILUSTRACIÓN 46: POSICIÓN DE LOS SENSORES EN TOLVA DE ALIMENTACIÓN.....	118
ILUSTRACIÓN 47: MICROCONTROLADOR ARDUINO.....	119
ILUSTRACIÓN 48: FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA MICROCONTROLADOR ARDUINO.....	119
ILUSTRACIÓN 49: PLACA 2 RELAY ARDUINO.....	120
ILUSTRACIÓN 50: SERVOMOTOR.....	120
ILUSTRACIÓN 51: DIAGRAMA CONEXIÓN SISTEMA AUTOMATIZACIÓN.....	121
ILUSTRACIÓN 52: GUARDA MOTOR S YILI 4-25 A.....	122
ILUSTRACIÓN 53: DIMENSIONES CONTENEDOR.....	126
ILUSTRACIÓN 54: MODELO CABINA.....	128
ILUSTRACIÓN 55: AFICHE INFORMATIVO.....	129
ILUSTRACIÓN 56: GRÁFICO PROYECCIÓN PRECIO KWH.....	135
ILUSTRACIÓN 57: EXPLOSIÓN DE COMPONENTES TRITURADORA PET.....	141
ILUSTRACIÓN 58: ENSAMBLE DE COMPONENTES TRITURADORA PET.....	142

## ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1: GENERACIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS EN CHILE. ....	18
TABLA 2: ESTIMACIÓN DE RESIDUOS SEGÚN ORIGEN. ....	19
TABLA 3: TABLA DISTRIBUCIÓN DE EMPRESAS RELACIONADAS AL SUBSECTOR PLÁSTICOS. ....	20
TABLA 4: GENERACIÓN DE RSM Y DE RESIDUOS DE PLÁSTICO POR REGIÓN. ....	21
TABLA 5: ESTIMACIÓN DE EYE Y CONSUMO DIARIO EN CHILE. ....	21
TABLA 6: PRECIOS DE COMPRA DEL PET EN LAS PROVINCIAS DE CURICÓ Y TALCA. ....	22
TABLA 7: TABLA PROPIEDADES 1 ALETA. ....	40
TABLA 8: TABLA PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS ACERO SAE 1045. ....	41
TABLA 9: CARACTERÍSTICAS MOTOR ELÉCTRICO. ....	55
TABLA 10: CARACTERÍSTICAS DE MOTORES BAJO CONDICIONES NORMALES. ....	56
TABLA 11: FACTOR DE SERVICIO. ....	56
TABLA 12: DIÁMETRO DE POLEA. ....	59
TABLA 13: SELECCIÓN DE CORREA TABLA 6 CATÁLOGO GENERAL INSA. ....	62
TABLA 14: FACTOR DE CORRECCIÓN LONGITUD TABLA 9 CATÁLOGO GENERAL INSA. ....	64
TABLA 15: TABLA PROPIEDADES EJE Y ALETAS. ....	67
TABLA 16: CARGAS EN EL EJE. ....	68
TABLA 17: SELECCIÓN DE CHAVETA. ....	86
TABLA 18: DIMENSIONES DE CHAVETA. ....	86
TABLA 19: SOLDADURA ESPESOR DE PLACA. ....	109
TABLA 20: PINTURA PARA COMPONENTES DE LA MÁQUINA. ....	127
TABLA 21: COSTOS DE MATERIALES Y COMPONENTES. ....	132
TABLA 22: COSTOS DE FABRICACIÓN DE COMPONENTES. ....	133
TABLA 23: CONSUMO ELÉCTRICO. ....	134
TABLA 24: PROYECCIÓN PRECIO KWH. ....	134
TABLA 25: COSTO CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL. ....	135
TABLA 26: COSTO MANTENIMIENTO ANUAL. ....	136
TABLA 27: COSTO TRANSPORTE PET. ....	136
TABLA 28: COSTOS ANUALES PARA EL PROYECTO. ....	137
TABLA 29: FLUJO DE CAJA A 10 AÑOS. ....	138

TABLA 30: CÁLCULO VAN Y TIR EVALUACIÓN ECONÓMICA A 10 AÑOS..... 138