

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN.....	2
1.2 LUGAR DE APLICACIÓN.....	2
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4 ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.5 ÁREA DE ESTUDIO.....	4
1.6 OTROS INTERESADOS.....	4
1.7 SOLUCIÓN PROPUESTA.....	4
1.8 OBJETIVOS.....	4
1.8.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.9 ALCANCES Y RESTRICCIONES	5
1.10 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	5
1.11 RESULTADOS ESPERADOS	9
1.12 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	10
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE DEL DOMINIO DEL PROBLEMA.....	11
2.1 PLANTAS GENERADORAS DE ELECTRICIDAD EN CHILE	12
2.1.1 CENTRALES TÉRMICAS DE VAPOR.	13
2.1 TEORÍA DEL CICLO RANKINE	14
2.2.1 CICLO RANKINE IDEAL.....	14
2.2 EL MORTOR STRILING	15

2.3.1 CICLO STIRLING.	17
2.3.2 TIPOS DE MOTORES STIRLING.....	19
2.3.2.1 MOTOR STIRLING ALFA	19
2.3.2.2 MOTOR STIRLING BETA	20
2.3.2.3 MOTOR STIRLING GAMMA.....	21
2.3.2.3 MOTOR STIRLING DE PISTONES DE DOBLE ACCIÓN.....	22
2.3 TRANSPORTE DE CALOR DESDE EL PROCESO DE CONDENSACIÓN AL MOTOR STIRLING.....	22
2.4.1 INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	23
2.4.2 TIPOS DE INTERCAMBIADORES	23
2.4.2.1 CONDENSADOR.....	23
2.4.2.1.1 TIPOS DE CONDENSADORES.....	23
2.4.2.1.2 CONDENSADORES DE SUPERFICIE	24
2.4.2.1.3 AGUA DE CIRCULACIÓN REQUERIDA POR LOS CONDENSADORES DE SUPERFICIE	25
2.4.2.1.4 TRANSMISIÓN CALORÍFICA DE LOS CONDENSADORES DE SUPERFICIE	26
2.4.2.2 INTERCAMBIADOR DE TUBO DOBLE.....	28
2.4.2.3 INTERCAMBIADOR DE TUBO Y CORAZA.....	28
2.4.3 COEFICIENTE DE TRASFERENCIA DE CALOR TOTAL	29
2.5 GENERADOR DE ELECTRICIDAD.....	32
2.6 ASPECTOS ECONÓMICOS PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS	33
2.6.1 LA TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR).....	33
2.6.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)	33

2.6.2 LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	34
CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO UTILIZADO	35
3.1 DISEÑO CONCEPTUAL	36
3.1.1 ANÁLISIS TERMODINÁMICO DEL CICLO RANKINE CON RECALENTAMIENTO	36
3.1.2 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN DE LA PLANTA TÉRMICA	39
3.1.3 POSIBLES FUENTES DE CALOR RESIDUAL PARA EL MOTOR STIRLING	41
3.1.3.1 CALOR CEDIDO POR EL VAPOR DE AGUA Y APROVECHADA DIRECTAMENTE POR EL MOTOR STIRLING	41
3.1.3.2 CALOR CEDIDO POR EL AGUA DE REFRIGERACIÓN DEL CONDENSADOR Y APROVECHADA DIRECTAMENTE POR EL MOTOR STILING	43
3.1.3.3 CALOR CEDIDO POR EL INTERCAMBIADOR DE AIRE CON VAPOR DE AGUA DIRECTO AL MOTOR	44
3.1.3.4 CALOR CEDIDO POR EL INTERCAMBIADOR DE AIRE CON AGUA DE REFRIGERACIÓN DIRECTO AL MOTOR	45
3.1.3.5 ANÁLISIS DE LA FUENTE DE CALOR SELECCIONADA	46
3.1.4 ANÁLISIS TEÓRICO DE LA PLANTA TÉRMICA CON EL SISTEMA DE COGENERACIÓN	46
3.1.4.1 ANÁLISIS TEÓRICO IDEAL DE LA PLANTA TÉRMICA CON EL SISTEMA DE COGENERACIÓN	47
3.1.4.2 ANÁLISIS TEÓRICO REAL DE LA PLANTA TÉRMICA CON EL SISTEMA DE COGENERACIÓN	47
3.1.5 RELACIÓN DE ASPECTO DEL PISTÓN DEL MOTOR STIRLING	49
CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA	50
4.1 RENTABILIDAD OBTENIDA POR EL SISTEMA COGENERACIÓN	51

4.2 VALORACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN.....	53
4.3 FLUJO DE CAJA DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN.....	54
4.3 INFLUENCIA ECONÓMICA DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN EN EL COMBUSTIBLE UTILIZADO PARA LA PLANTA TÉRMICA	56
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
5.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS TERMODINÁMICOS OBTENIDOS POR EL SISTEMA DE COGENERACIÓN.....	60
5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ECONÓMICOS OBTENIDOS POR EL SISTEMA DE COGENERACIÓN	61
CONCLUSIÓN	63
CONCLUSIÓN	64
REFERENCIA	66
REFERENCIAS.....	67
ANEXOS	70
ANEXOS 1: MEMORIA DE CALCULOS.....	71
ANEXOS 1.1 CÁLCULOS TERMODINÁMICOS Y TRANSFERENCIA DE CALOR.....	71
CALCULO DE CICLO RANKINE IDEAL.....	71
CALCULO DE CICLO RANKINE REAL	73
CALCULO DE CICLO RANKINE IDEAL CON SISTEMA DE COGENERACION.....	75
CALCULO DE CICLO RANKINE REAL CON SISTEMA DE COGENERACION.....	77
ANEXOS 1.2 CÁLCULOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	79

CALCULO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	79
ANEXOS 2: COTIZACIONES Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	85
ANEXOS 2.1 COTIZACIÓN DEL INTERCAMBIADOR UTILIZADO	85
ANEXOS 3.2 GENERADOR SELECCIONADO	86
ANEXOS 3.3 AUTOMÁTICO 80A	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Esquema de una central térmica con condensador. Fuente: W.H. Sevens – H.E Degler – J.C. Miles, 1982.....	13
Ilustración 2. Esquema del ciclo Rankine simple. Fuente: Yunes A Cengel - Michael A. Boles,2009.	14
Ilustración 3. Esquema del motor Stirling. Fuente: www.proyecto-motorstirling.webnode.cl	16
Ilustración 4. Esquema representativo del motor Stirling tipo alfa. Fuente: Manuel Ángel Moreno Iruela,2018	20
Ilustración 5. Esquema del motor Stirling tipo beta. Fuente: Manuel Ángel Moreno Iruela,2018.....	21
Ilustración 6. Esquema de motor Stirling tipo gamma. Fuente: Manuel Ángel Moreno Iruela,2018.....	21
Ilustración 7. Esquema de motor Stirling de tipo doble acción. Fuente: Manuel Ángel Moreno Iruela,2018.	22
Ilustración 8. Condensador de superficie Westinghouse Fuente: (W.H. Sevens – H.E Degler – J.C. Miles,1982).....	24
Ilustración 9. Esquema de intercambiador de flujo paralelo y en contraflujo. Fuente: Yunes A Cengel - Michael A. Boles,2009.	28
Ilustración 10. Esquema de intercambiador de tubo y coraza. Fuente: Yunes A Cengel - Michael A. Boles,2009.	29
Ilustración 11. Transferencia de calor por medio de las paredes del intercambiador. Fuente: (Yunes A Cengel,2007).	30
Ilustración 12. Detalle de rotor y del estator de un generador. Fuente: (www.fundacionendesa.org ,2020).....	32
Ilustración 13. Esquema de proceso del ciclo Rankine con recalentamiento. Fuente: Propia.....	37
Ilustración 14. Esquema del proceso de cogeneración por medio de motor Stirling. Fuente: Propia.....	40

Ilustración 15. Esquema del proceso de cogeneración con alimentación del motor Stirling directo de la turbina. Fuente: Propia.....	42
Ilustración 16. Esquema del proceso de cogeneración con alimentación del motor Stirling con fuente de calor el agua de refrigeración del proceso de condensación en forma directa. Fuente: Propia.....	43
Ilustración 17. Esquema de proceso del motor Stirling con la adición de calor desde el intercambiador de aire con vapor de agua puesto en el ciclo Rankine con recalentamiento. Fuente: Propia.....	44
Ilustración 18. Esquema del proceso de cogeneración por medio del motor Stirling con fuente de calor proveniente desde el intercambiador de calor aire agua. Fuente: Propia	45
Ilustración 19. Representación de la camisa exterior del motor Stirling para el ingreso del fluido con energía calorífica. Fuente: Propia.....	49
Ilustración 20. Vista cortada de la doble camisa del motor Stirling. Fuente: Propia.	49
Ilustración 21. Generador magnético permanente. Fuente: www.libaba.com/product-detail/500rpm-50kW-Permanent-Magnet-Generator	86
Ilustración 22. Generador magnético permanente. Fuente: www.libaba.com/product-detail/500rpm-50kW-Permanent-Magnet-Generator	86
Ilustración 23. automático 80 A. Fuente: www.rhona.cl/producto/1297/interruptor-automatico-tetrapolar.html	87

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Comparación entre las diversas energías de producción en Chile. Fuente: www.energiaabierta.cl , 2020.....	12
Gráfico 2. Diagrama T-S del ciclo Rankine simple. Fuente: Yunes A Cengel - Michael A. Boles, 2009	15
Gráfico 3. Diagrama Presión en función del volumen del ciclo Stirling. Fuente: Yunes A Cengel - Michael A. Boles, 2009	17
Gráfico 4. Diagrama Temperatura v/s entropía del ciclo Stirling. Fuente: Yunes A Cengel - Michael A. Boles, 2009.....	18
Gráfico 5. Rendimiento de la bomba en función de su velocidad. Fuente: Salvador de las Heras, 2011	38
Gráfico 6. Rendimiento adiabático de una turbina en función de la relación de presiones. Fuente: Kakaç, Sadik ed. (1991).	38
Gráfico 7. Eficiencia en función del Número de transferencia Fuente: Kakaç, Sadik ed, 1991	48
Gráfico 8. USD/MWh en función de del tiempo. Fuente: www.coordinador.cl/ , 2021 ..	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de generación por subestación	52
Tabla 2. valoración de la energía generada.	52
Tabla 3. Resumen de lista de precios inversión inicial.....	53
Tabla 4. Flujo de caja, situación base. Fuente: Propia.	54
Tabla 5. Flujo de caja, situación hipotética dos. Fuente: Propia	55
Tabla 6. Planta sin cogeneración, cantidad de dolores por días en combustible	56
Tabla 7. Sistema de cogeneración conectado a la planta térmica, cantidad de dólares por día en combustible.	57
Tabla 8. Ahorro monetario entre el sistema con y sin congelación, en relación con el gasto en combustible utilizado.	57