

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN .....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA .....	3
1.4 OBJETIVOS .....	3
1.4.1 Objetivo General .....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.5 ALCANCES DEL PROYECTO .....	4
1.6 METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS .....	4
1.7 RESULTADOS ESPERADOS .....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	6
2.1.1 Convección.....	6
2.1.2 Radiación.....	7
2.2 ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA SOLAR.....	8
2.2.1 Energía solar.....	8
2.2.2 Radiación solar.....	8
2.2.3 Variación de la radiación solar.....	8
2.2.4 Efecto de la atmósfera.....	9
2.3 RADIACIÓN SOLAR EN CHILE.....	10
2.3.1 Ley 20.365 .....	11
2.4 SISTEMA SOLAR TÉRMICO (SST) .....	11
2.4.1 Colectores solares térmicos (CST).....	12
2.5 COLECTORES SOLARES DE TUBO DE VACÍO .....	12
2.5.1 Modelos que existen en el mercado de tubos de vacío .....	13
2.6 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN COLECTOR SOLAR .....	15
2.7 Norma ANSI/ASHRAE 93 (RA 91) .....	17
2.7.1 Modelo de ensayo .....	18
CAPÍTULO III: PROTOCOLO Y MODIFICACIÓN EN CADA ENSAYO .....	21

3.1 PROTOCOLO DE ENSAYOS .....	22
3.2 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO .....	23
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
4.1 UTILIZACIÓN DE MALLA RASCHEL.....	27
4.1.1 Ensayo 27 de mayo .....	28
4.1.2 Ensayo 3 de junio.....	29
4.2 TUBO DAÑADO .....	31
4.2.1 6 de junio.....	32
4.2.2 9 de junio.....	34
4.2.3 18 de junio.....	36
4.3 DISCUSIÓN.....	38
4.3.1 Utilización de malla raschel .....	38
4.3.2 Tubo de vacío dañado. ....	44
CONCLUSIONES.....	51
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	53
ANEXOS.....	55
A. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL COLECTOR SOLAR .....	56
A.1 Componentes de la instalación del colector solar .....	56
A.2 Condición de falla presente en ensayos.....	57
B. BANCO DE ENSAYO.....	58
B.1 Piranómetro CMP11 .....	62
B.2 Pirheliómetro CHP1 .....	63
C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	63
C.1 Correlación de Spearman .....	63
D. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS.....	65
D.1 Malla raschel .....	65
D.2 Espuma elastomérica.....	65
E. TIPOS DE ENSAYOS REALIZADOS.....	66
E.1 Ensayo utilización de malla raschel.....	66
E.2 Ensayo tubo de vacío dañado .....	67
F. DATOS EMPLEADO EN CONTRASTACIÓN DE EFICIENCIA .....	69

G. TABLAS DE ENSAYOS DE EFICIENCIA TÉRMICA. ....	72
H. ENSAYOS NO UTILIZADOS DE EFICIENCIA TÉRMICA.....	85
I. PC 400.....	89
J. MANTENIMIENTO DEL COLECTOR SOLAR ACT 200L .....	90
J.1 Generar plan de mantenimiento.....	90
J.2 Mantenimiento preventivo.....	90
J. 3 Recomendaciones para el mantenimiento .....	91
J.4 Herramientas para la Mantenimiento .....	92
J.5 Delineación de procedimiento ante una falla .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1- Esquema de la radiación solar que llega a la tierra. ....	9
FIGURA 2-2-Colector de vacío de tubos de calor (Heat-Pipe).....	13
FIGURA 2-3-Colector de vacío de tubos U. ....	14
FIGURA 2-4-Esquema de termo solar. ....	15
FIGURA 2-5 Esquema de función de un colector solar de tubos de vacío. ....	16
FIGURA 2-6 Configuración para ensayo en circuito abierto cuando el flujo es suministrado continuamente.....	19
FIGURA 3-1- Limpia contacto similar al empleado. ....	22
FIGURA 3-2 Instalación de tarjeta SD.....	24
FIGURA 4-1 Curva de eficiencia térmica 27 de mayo del 2017. ....	29
FIGURA 4-2 Curva de eficiencia térmica 3 de junio del 2017 .....	31
FIGURA 4-3 Curva de eficiencia térmica 6 de junio del 2017. ....	33
FIGURA 4-4 Curva de eficiencia térmica 9 de junio del 2017 .....	35
FIGURA 4-5 Curva de eficiencia térmica 18 de junio del 2017. ....	37
FIGURA 4-6 Contrastación mixta de la curva de eficiencia respecto del factor de condición. ....	38
FIGURA 4-7 Velocidad del viento para los períodos de ensayo con respecto al primer análisis. ....	39
FIGURA 4-8 Radiación global presenta en ensayos con utilización de sombra.....	40
FIGURA 4-9 Inclinación del Sol con respecto al colector para primer análisis. ....	41
FIGURA 4-10 Comportamiento de la temperatura ambiente para ensayos con sombra. ....	42
FIGURA 4-11 Contrastación de ensayo con obstrucción de radiación V/S condición ideal de captación. ....	43
FIGURA 4-12 Contrastación mixta de la curva de eficiencia respecto del factor de condición. ....	44
FIGURA 4-13 Velocidad del viento para los períodos de ensayos con respecto al segundo grupo analizado.....	46
FIGURA 4-14 Radiación global presenta en ensayos con tubo dañado.....	47
FIGURA 4-15 Inclinación del Sol con respecto al colector para segundo análisis.....	48
FIGURA 4-16 Comportamiento de la temperatura ambiente para ensayos con tubo dañado. ....	49
FIGURA 4-17 Contrastación de ensayo con tubo dañado V/S condición ideal de captación..	50
FIGURA A-1 Válvula de alivio en compresión. ....	57
FIGURA A-2 Válvula de alivio en óptimas condiciones. ....	58
FIGURA B-1 Placa de tarjeta SD y regulador de voltaje.....	59
FIGURA B-2 Estación climatológica Universidad de Talca, sede los Niches.....	59
FIGURA B-3 Ficha técnica del SOLYS 2. ....	61
FIGURA B-4 Pirarómetro CMP11.....	62

FIGURA B-5 Pyrheliometer CHP1 instalado en la Universidad de Talca, Campus Curicó .....	63
FIGURA C-1 Valores críticos del coeficiente de correlación de Spearman. ....	64
FIGURA D-1 Ficha técnica de espuma elastomérica.....	66
FIGURA E-1 Simulación de sombra en equipo solar térmico. ....	67
FIGURA E-2 Segundo ensayo tubo de vacío sin captación de radiación. ....	68
FIGURA E-3 Constatación de utilización de Colector de tubos de vacío con una de placa plana. ....	68
FIGURA F-1 Contrastación espacio de curvas de eficiencia térmica respecto del factor de condición. ....	69
FIGURA F-2 Inclinación del Sol con respecto al colector según la hora del día.....	70
FIGURA F-3 Comparación de temperatura ambiente para cada ensayo .....	70
FIGURA F-4 Velocidad del viento para los periodos de ensayo con respecto a la hora del día. ....	71
FIGURA J-1 Software empleado en la estación climatológica.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 4-1 Resultado promedio en ensayo de eficiencia térmica efectuado el día 27 de mayo del 2017. ....	28
TABLA 4-2 Resultados de eficiencia, 27 de mayo del 2017. ....	28
TABLA 4-3 Análisis estadístico, 27 de mayo del 2017. ....	29
TABLA 4-4 Resultado promedio en ensayo de eficiencia térmica efectuado el día 3 de junio del 2017. ....	30
TABLA 4-5. Resultados de eficiencia, 3 de junio del 2017. ....	30
TABLA 4-6 Análisis estadístico, 3 de junio del 2017. ....	31
TABLA 4-7 Resultado promedio en ensayo de eficiencia térmica efectuado el día 6 de junio del 2017. ....	32
TABLA 4-8 Resultados de eficiencia, 6 de junio del 2017. ....	33
TABLA 4-9 Anlisis estadísticos, 6 de junio del 2017. ....	33
TABLA 4-10 Resultado promedio en ensayo de eficiencia térmica efectuado el día 9 de junio del 2017. ....	34
TABLA 4-11 Resultados de eficiencia, 9 de junio del 2017. ....	35
TABLA 4-12 Análisis estadísticos, 9 de junio del 2017. ....	35
Tabla 4-13 Resultado promedio en ensayo de eficiencia térmica efectuado el día 18 de junio del 2017. ....	36
TABLA 4-14 Resultados de eficiencia, 18 de junio del 2017. ....	36
TABLA 4-15 Análisis estadísticos, 18 de junio del 2017. ....	37
TABLA A-1 Especificaciones técnicas del colector solar ACT2001. ....	56
TABLA B-1 Principales características del piranometro CMP11. ....	62
TABLA D-1 Características malla Raschel. ....	65
TABLA F-1 Inclinación promedio para los distintos meses del año. ....	71
TABLA G-1 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 27 de mayo del 2017. ....	72
TABLA G-2 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 3 de junio del 2017. ....	75
TABLA G-3 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 6 de junio del 2017. ....	78
TABLA G-4 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 9 de junio del 2017. ....	81
TABLA G-5 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 18 de junio del 2017. ....	83
TABLA H-1 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 27 de mayo del 2017. ....	85

TABLA H-2 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 7 de junio del 2017. ....	87
TABLA J-1 Materiales y Herramientas a utilizar en el mantenimiento. ....	92
TABLA J-2 Plan mantenimiento preventivo mensual. ....	94
TABLA J-3 Plan de mantenimiento preventivo anual 1. ....	95
TABLA J-4 Plan de mantenimiento preventivo anual 2. ....	96
TABLA J-5 Mantenimiento correctivo ficha de reparación. ....	97