

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA .....	2
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
1.8 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO .....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 EL SOL Y LA TIERRA .....	7
2.2 RADIACIÓN SOLAR.....	7
2.2.1 Tipos de radiación solar.....	8
2.2.2 Medición de la radiación solar.....	9
2.3 SITUACIÓN EN CHILE.....	10
2.4 AZIMUT Y ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL COLECTOR SOLAR.....	11
2.4.1 Medición del ángulo de incidencia de la radiación Solar, con respecto a la inclinación del colector.....	13
2.5 MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	14
2.6 CONSIDERACIONES NORMATIVAS Y LEGALES.....	15
2.7 SISTEMA SOLAR TÉRMICO .....	16
2.8 COLECTOR SOLAR TÉRMICO .....	17
2.8.1 Colector de tubos de vacío.....	17
2.9 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA.....	18
2.10 ENSAYOS .....	18
2.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS EXPERIMENTALES .....	21
2.11.1 Criterio de Chauvenet.....	22

CAPÍTULO III: MONTAJE DEL EQUIPO Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	21
3.1 MONTAJE DEL EQUIPO .....	25
3.2 PROTOCOLO DE ENSAYO.....	29
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1 ENSAYO 26 DE ABRIL.....	33
4.2 ENSAYO 27 ABRIL .....	35
4.3 ENSAYO 28 DE ABRIL.....	37
4.4 ENSAYO 4 DE MAYO.....	40
4.5 CONSTATACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20 .....	42
4.6 DISCUSIÓN .....	44
4.6 RESUMEN DE CRITERIOS .....	52
CONCLUSIONES .....	50
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	57
ANEXOS .....	54
A. CÁLCULO PARA CONOCER LA INCLINACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR CON RESPECTO A LOS MESES DEL AÑO .....	59
A.1 Declinación Solar.....	59
A.2 Cálculo de la inclinación del colector para los distintos meses del año .....	60
B. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA .....	61
C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	65
C.1 Media aritmética y desviación estándar .....	65
C.2 Ajuste por mínimos cuadrados.....	66
C.4 Coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de determinación .....	67
C.5 Análisis de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk .....	68
C.6 Correlación de Spearman .....	72
C.7 Error porcentual absoluto medio (MAPE) .....	75
D. COMPONENTES INVOLUCRADOS EN EL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE DATOS .....	76

D.1 Arduino .....	76
D.2 Sensor de temperatura DS18B20 .....	77
D.3 Sensor de flujo YF-S201 .....	77
D.4 Sensor de temperatura LM35 .....	78
D.5 Anemómetro FST-200-201 .....	79
E. INFORME DE ENSAYO Y DATOS REGISTRADOS .....	81
F. DATOS OBTENIDOS PARA LOS ENSAYOS DE EFICIENCIA TÉRMICA ....	83
G. NORMA ASHRAE 93 1986 (RA 91) .....	101
H. DECRETO 331 .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Tipos de radiación solar.....	9
FIGURA 2.2 Estación climatológica Universidad de Talca, sede los Niches. ....	10
FIGURA 2.3 Distribución del consumo energético a nivel residencial. ....	11
FIGURA 2.4 Representación azimut e inclinación en un plano.....	12
FIGURA 2.5 Circulación por convección natural. ....	15
FIGURA 2.6 Descripción del circuito primario y secundario .....	16
FIGURA 2.7 Colector solar de tubos de vacío. ....	18
FIGURA 2.8 Configuración para ensayo en circuito abierto cuando el fluido es suministrado continuamente. ....	19
FIGURA 2.9 Ejemplo de curvas de eficiencia de colectores solares planos. ....	21
FIGURA 2.10 Criterio de Chauvenet para rechazar una lectura. ....	22
FIGURA 3.1 Representación final del equipo Solar térmico ACT2001 .....	26
FIGURA 3.2 Configuración para ensayo de un equipo Solar térmico. ....	28
FIGURA 4.1 Curva de eficiencia térmica, 26 de abril de 2017.....	34
FIGURA 4.2 Curva de eficiencia térmica, 27 de abril, 2017. ....	37
FIGURA 4.3 Curva de eficiencia térmica, 28 de abril de 2017.....	39
FIGURA 4.4 Curva de eficiencia térmica, 4 de mayo, 2017.....	41
FIGURA 4.5 Comparación de datos entregados por el sensor DS18B20 y el tester MCL4547.....	43
FIGURA 4.6 Contrastación espacio de curvas de eficiencia térmica respecto del factor de condición.....	44
FIGURA 4.7 Velocidad del viento para los periodos de ensayo con respecto a la hora del día.....	46
FIGURA 4.8 Análisis de zonas de emisión y absorción de calor del colector. ....	47
FIGURA 4.9 Radiación global para cada día de ensayo. ....	47
FIGURA 4.10 Inclinación del Sol con respecto al colector según la hora del día. ....	48
FIGURA 4.11 Comparación de temperatura ambiente para cada ensayo. ....	49
FIGURA 4.12 Comparación entre la diferencia de temperatura de agua al ingreso y salida del colector.....	50

FIGURA 4.13 Comparación de temperatura, 26 de abril. ....	50
FIGURA 4.14 Comparación de temperatura, 27 de abril. ....	51
FIGURA 4.15 Comparación de temperatura, 28 de abril. ....	51
FIGURA 4.16 Comparación de temperatura, 4 de mayo. ....	52
FIGURA B.1 Componentes asociados a instalaciones solares térmicas. ....	61
FIGURA C.1 Ejemplo de ajuste por método de mínimos cuadrados. ....	66
FIGURA C.2 Distribución del estadístico de Shapiro-Wilk ( $W_t$ ) para el contraste de normalidad. ....	69
FIGURA C.3 Continuación de la distribución del estadístico de Shapiro-Wilk ( $W_t$ ).....	70
FIGURA C.4 Histograma para los datos de eficiencia correspondiente a cada día de ensayo. ....	71
FIGURA C.5 Valores críticos del coeficiente de correlación de Spearman. ....	73
FIGURA D.1 Arduino Mega. ....	76
FIGURA D.2 Configuración electrónica para sistema de registro de datos, mediante Arduino. ....	80
FIGURA G.1 Carátula de la norma ASHRAE 93. ....	101
FIGURA H.1 Primera página del decreto331. ....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 Agua caliente sanitaria a nivel nacional y socioeconómico. ....	11
TABLA 2.2 Especificaciones técnicas del colector solar ACT2001.....	17
TABLA 4.1 Resultados promedio para ensayo de eficiencia térmica realizada el día 26 de abril de 2017.....	33
TABLA 4.2 Resultados de eficiencia, 26 de abril de 2017. ....	34
TABLA 4.3 Resultados de análisis estadístico, 26 de abril 2017.....	35
TABLA 4.4 Resultados promedio para ensayo de eficiencia térmica realizada el día 27 de abril de 2017. ....	35
TABLA 4.5 Resultados de eficiencia, 27 de abril 2017. ....	36
TABLA 4.6 Resultados de análisis estadístico, 27 de abril de 2017.....	37
TABLA 4.7 Resultados promedio para ensayo de eficiencia térmica realizada el día 28 de abril de 2017. ....	38
TABLA 4.8 Resultados de eficiencia, 28 de abril de 2017. ....	38
TABLA 4.9 Resultados de análisis estadístico, 28 de abril, 2017.....	39
TABLA 4.10 Resultados promedio para ensayo de eficiencia térmica realizada el día 4 de mayo del 2017.....	40
TABLA 4.11 Resultados de eficiencia, 4 de mayo,2017.....	40
TABLA 4.12 Resultados de análisis estadístico, 4 de mayo, 2017. ....	41
TABLA 4.13 Resultados de mediciones captadas por 2 sensores de temperatura. ....	42
TABLA 4.14 Análisis estadístico para la constatación del sensor DS18B20. ....	43
TABLA 4.15 Resultados de correlación entre la curva representativa y las curvas de eficiencia para cada día de ensayo. ....	45
TABLA 4.16 Resumen de criterios. ....	53
TABLA A.1 Declinación Solar para todos los días del año .....	59
TABLA A.2 Inclinación promedio para los distintos meses del año. ....	60
TABLA C.1 Correlación lineal entre dos variables.....	67
TABLA C.2 Resultados de la prueba de normalidad para los datos de eficiencia. ....	72
TABLA C.3 Resultados de correlación entre la eficiencia y el factor de condición según la prueba de Spearman. ....	74

TABLA D.1 Ficha técnica Arduino Uno.....	76
TABLA D.2 Ficha técnica sensor de temperatura DB18B20.....	77
TABLA D.3 Ficha técnica sensor de flujo YF-S201.....	78
TABLA D.4 Ficha técnica sensor de temperatura LM35.....	78
TABLA D.5 Sensor de velocidad del viento Fst200-201.....	79
TABLA E.1 Registro de mediciones, datos e información para determinar la eficiencia térmica del colector Solar ACT2001, el día 26 de abril del 2017.....	81
TABLA F.1 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 26 de abril, 2017.....	83
TABLA F.2 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 27 de abril, 2017.....	88
Tabla F.3 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 28 de abril, 2017.....	93
Tabla F.4 Datos para determinar la eficiencia térmica del colector ACT2001, 04 de mayo, 2017.....	97