

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
Capítulo 1 . INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 RESULTADOS ESPERADOS.....	5
1.6 METODOLOGÍA.....	5
Capítulo 2 . MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Chile en materia energética.....	8
2.1.1 Cambio climático.....	8
2.1.1.1 Cambio climático en Chile y sus consecuencias.....	9
2.1.1.2 Proyecciones climáticas futuras en Chile.....	11
2.1.2 Matriz energética y eléctrica en Chile.....	13
2.1.2.1 Sector eléctrico: Energías RNC, principalmente solar.....	15
2.2 Energía solar fotovoltaica.....	18

2.2.1	Ángulos solares	22
2.2.2	Ecuaciones de generación eléctrica	23
2.3	paneles solares fotovoltaicos	27
2.3.1.1	clasificación de paneles solares fotovoltaicos	28
2.3.2	Funcionamiento de los módulos solares	30
2.3.3	Banda prohibida o band gap	31
2.3.4	Mecanismos de degradación y fallos en módulos FV	34
2.4	parametros de funcionamiento.....	37
2.4.1	Curva I-V	38
2.4.2	Efectos influyentes en el desempeño de módulos solares FV	39
2.5	mantenimiento industrial	42
2.6	termografía infrarroja aplicada	43
2.6.1	Principios básicos de la radiación térmica.....	47
2.6.1.1	Correlación entre emisión y reflexión.....	49
2.6.2	Manejo de la emisividad en termografías.....	49
2.6.3	Punto de medición y distancia de medición distancia	50
2.6.4	radiación en termografía.....	51
2.6.5	Termografía en vidrios	52
2.6.6	Especulación de reflexión.....	53
2.6.7	Otras recomendaciones.....	54
2.7	normativa vigente para el estudio.....	55
Capítulo 3 . DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.....		58
3.1	Data-sheet: planta de enrgía fotovoltaica “on-grid” Universidad de talca	59
3.2	caracteristicas geograficas y radiantes.....	60
3.2.1	Ubicación de la planta	60

3.2.2	Recursos solares y meteorológicos.....	61
3.3	aplicación de termografía	62
3.3.1	Nomenclatura de referencia para paneles solares.....	64
3.3.2	Metodología de la aplicación de la termografía	67
3.4	resultados de la primera parte del estudio (MUESTRAS)	74
3.5	resultados de la segunda parte del estudio (muestras).....	78
Capítulo 4	. ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
4.1	cálculos previos de análisis	85
4.1.1	Cálculo de las eficiencias	85
4.1.2	En relación con la primera sección de muestras.....	86
4.1.3	Comparativa de efectividad en barridos con respecto a eficiencia en las primeras 5 muestras.....	92
4.1.4	Segunda parte de muestras en soiling.....	95
4.2	análisis sistema eléctrico	101
4.3	balance de pérdida económica.....	103
4.4	recomendaciones de mantenimiento.....	105
	CONCLUSIONES.....	107
	Bibliografía.....	110
	ANEXOS.....	112
	ANEXO 1: ficha técnica panel solar tiger mono-facial 450-470 e informe de planta Los NICHES, CURICO, UtaIca.....	112
	ANEXO 2: medición del ifov -meas	114
	ANEXO 3: informe técnico primera parte y segunda parte	115
	ANEXO 4: código de ejecución en mathLab. Autor: ING. Héctor Torres Ortega	172
	ANEXO 5: muestra de análisis primera parte en barridos y fallas.....	175

ANEXO 6: datos ajustados de soiling con análisis.176

ANEXO 7: TARIFA DE CONSUMO, DISTRIBUCION Y MANEJO DE ENEFIA
ELECTRICA CGE CURICÓ. fuente: ministerio de economia, fomento y reconstrucción, cec.

178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Emisiones de gases efecto invernadero por sectores. Fuente: World Resources Institute, Historical country-level and sectoral GHG emisión	9
Figura 2.2: Proyecciones de Temperatura para un escenario en Chile y parte de LATAM. Fuente: CEPAL 2012	12
Figura 2.3: Resumen del impacto climático en Chile. Fuente: COP25 2019	13
Figura 2.4: Capacidad instalada de energía neta por tecnología. Fuente: Energía abierta 2022	16
Figura 2.5: Capacidad instalada neta de generación de energía eléctrica en ERNC. Fuente: energía Abierta 2022	17
Figura 2.6: Ángulos presentes para la correcta ubicación de un panel solar. Fuente: (Garrido, 2020).....	20
Figura 2.7: Radiación espectral de cuerpos a diferentes temperaturas. Fuente: (Garrido, 2020)	21
Figura 2.8: Radiación en paneles solares. Fuente: (Garrido, 2020)	22
Figura 2.9: Funcionamiento de paneles solares domiciliarios. Fuente: (Arancibia, 2016)	27
Figura 2.10: Celda solar monocristalina. Fuente: (Pereda, 2005)	28
Figura 2.11: Celdas solares policristalina. Fuente: (Pereda, 2005)	29
Figura 2.12: Celda solar de silicio amorfo. Fuente: Hogartech.....	30
Figura 2.13: Estructura interna mono facial y bifacial para módulos fotovoltaicos. Fuente: (Garrido, 2020).....	30
Figura 2.14: Átomo de Silicio. Fuente: (Pereda, 2005).....	31
Figura 2.15: Energía vs momentum de un electrón libre para Ge, Si y GaAs. Fuente: Pereda,2005	32
Figura 2.16: Esquema del recorrido de los electrones en un panel solar fotovoltaica. Fuente: (Garrido, 2020).....	33
Figura 2.17: Materiales semiconductores con diferentes bandas prohibidas. Fuente: (Pereda, 2005).....	34
Figura 2.18: Modos de degradación en relación con factores ambientales. Fuente: (Reguera Gil, 2015).....	37

Figura 2.19: Curva I-V Típica de un módulo solar. Fuente: (Castro , 2019)	38
Figura 2.20: Potencia (Pmp) de un módulo solar. Fuente: (Rau Andrade, 2017)	39
Figura 2.21: Potencia en Función de la Irradiancia. Fuente: (Hurtado Valenzuela, 2016)	39
Figura 2.22: Efecto de la temperatura en módulos solares FV. Fuente: (Rau Andrade, 2017)	40
Figura 2.23: Efecto de nombramiento en el desempeño de un módulo FV. Fuente: (Rau Andrade, 2017)	41
Figura 2.24: Estudio de la influencia del sombreado en paneles solares. Fuente: Solar energy International,2015.....	41
Figura 2.25:Espectro electromagnético. Fuente: (Hurtado Valenzuela, 2016)	44
Figura 2.26: Tipos de detectores infrarrojos. Fuente: (Balageas, 2007).....	45
Figura 2.27: Funcionamiento general de una Cámara Termográfica. Fuente: The Ultimate infrared Handbook for R&D Professionals, FLIR Systems	46
Figura 2.28: Indicatrices de emisión del cuerpo negro, del cuerpo gris y de los dos tipos de materiales (dieléctrico y metálico). Fuente: Balageas,2007	47
Figura 2.29: Radiación incidente, absorbida, reflejada y transmitida. Fuente: Guía de la Termografía Infrarroja.....	48
Figura 2.30: Efectos de un ajuste incorrecto de la emisividad en la medición de la temperatura. Fuente: Pocket Guide Thermography.....	50
Figura 2.31: Campo de visión de un solo píxel. Fuente: (TESTO AG, 2012)	51
Figura 2.32: Radiacion en exteriores. Fuente: (TESTO AG, 2012)	52
Figura 2.33: Termografía errónea a través de un vidrio. Fuente: (TESTO AG, 2012)	53
Figura 2.34: Especulación y difusión de reflexión. Fuente: (TESTO AG, 2012).....	54
Figura 2.35: Cámara descalibrada o mal ajuste de escala terma. Fuente: (TESTO AG, 2012).....	55
Figura 2.36: Interpretación de imagen IR testo. Fuente: (TESTO AG, 2012)	56
Figura 2.37: criterio de diagnóstico térmico eléctrico. Fuente: thermographiccsas.com/ats2017	57
Figura 3.1: Especificaciones técnicas de módulos solares. Fuente: Jinkosolar.com.....	59
Figura 3.2: Ubicación de la planta de energía fotovoltaica, Los niches, Curicó. Fuente: Explorador.mienergia.cl.	61
Figura 3.3: Información Climática de la zona. Fuente: Explorador.mienergia.cl.	61

Figura 3.4: Radiación global horizontal, Los niches, Curicó. Fuente: Explorador.mienergia.cl.	62
Figura 3.5: Ejemplo para pronóstico de radiación solar. Fuente: Tutiempo.net	63
Figura 3.6: Radiación solar minuto a minuto. Fuente: Redmeteo.cl	64
Figura 3.7: Parámetros de muestreo minuto a minuto. Fuente: Redmeteo.cl.....	64
Figura 3.8: Nomenclatura para los paneles solares. Fuente Propia	65
Figura 3.9: Esquematización de la sub-planta 1. Fuente: propia.....	66
Figura 3.10: Barrido térmico para la detección de fallas. Fuente: propia	66
Figura 3.11: Ejemplo de barrido con falla célula. Fuente propia.	67
Figura 3.12: comparativa panel limpio total con panel de 1 semana de ensuciado natural sin presencia de lluvia. Fuente propia.	72
Figura 3.13: Tabla con valores muestra 1. Fuente propia.	75
Figura 3.14: tabla de datos de barridos en la muestra 1. Fuente propia.	76
Figura 3.15 información eléctrica de los paneles sanos en muestra 1. Fuente propia.....	76
Figura 4.1: Grafico de la curva I-V y Potencia para ejemplo de 1 voltio. Fuente propia.....	87
Figura 4.2: Gráficos de voltajes y amperajes para cada caso en soiling. Fuente propia	98

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Anomalías en el tiempo de temperaturas en Chile. Fuente: M. Falvey y R. D. Garreaud, “Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast	10
Gráfico 2.2: matriz energética primaria en Chile 2019. Fuente: Ministerio de energía,2020 ...	14
Gráfico 2.3: Uso de recursos energéticos 2010. Fuente: Energía abierta 2022.....	17
Gráfico 2.4: Uso de recursos energéticos 2022. Fuente: energía abierta 2022	18
Gráfico 2.5: Irradiación espectral en W/m ² respecto a las longitudes de onda. Fuente: (Garrido, 2020).....	19
Gráfico 4.1: Comparativa de las muestras 1, 2 y 4 en relación con las curvas I-V. Fuente propia.....	89
Gráfico 4.2: Comparativa de las muestras 1, 2 y 4 en relación con las curvas I-V panel 2-15. Fuente propia	91
Gráfico 4.3: Temperaturas máximas en panel 2-14 para muestras soiling. Fuente propia.....	96
Gráfico 4.4: Temperaturas máximas en panel 2-15 para muestras soiling, Fuente propia.....	97
Gráfico 4.5: Temperaturas medias panel 2-14 para muestras soiling. Fuente propia	97
Gráfico 4.6: Temperaturas medias panel 2-15 para muestras soiling. Fuente propia	98
Gráfico 4.7: Eficiencias por cada caso en todas las muestras panel 2-14. Fuente propia	99
Gráfico 4.8: Eficiencia por cada caso en todas las muestras panel 2-15. Fuente propia.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Impacto de temporales, 1997-2003. Fuente: BID y CEPAL (Banco Interamericano de Desarrollo y Comisión Económica para América Latina y el Caribe)	11
Tabla 2.2: Matriz energética primaria, valores del año 2019 en Tcal. Fuente: Energía abierta (2021)	14
Tabla 2.3: Efectos influyentes en el rendimiento de equipos solares Fotovoltaicos. Fuente: (Hurtado Valenzuela, 2016)	42
Tabla 2.4: Normativa o reglamentos en el que se basa el estudio y su descripción. Fuente propia	55
Tabla 3.1: Comparativa imagen limpia y de irradiación térmica. Fuente propia	68
Tabla 3.2: Comparativa imágenes IR y limpias para conectores e interruptores. Fuente propia	69
Tabla 3.3: Comparativa de los 3 modos de soiling del estudio. Fuente propia.	71
Tabla 3.4: Comparativa de temperaturas en paneles solares, ejemplo de muestra clasificado en panel con ensuciamiento natural, sobre ensuciado, y completamente limpio respectivamente de izquierda a derecha. Fuente propia.	73
Tabla 3.5: Datos generales de las muestras 1-7. Fuente propia.....	74
Tabla 3.6: Ejemplo de datos de muestra 1. Fuente propia.....	75
Tabla 3.7: Barridos pautados con información técnica (ejemplo de muestra 1). Fuente propia.	76
Tabla 3.8: muestra soiling 2 ejemplo. Fuente Propia	78
Tabla 3.9: Tabla de muestra soiling 2 con parámetros eléctricos. Fuente propia.....	79
Tabla 3.10: Especificaciones de datos de elementos eléctricos. Fuente propia	81
Tabla 3.11: Ejemplificado de muestra en elementos eléctricos. Fuente propia.	82
Tabla 4.1: Valores de intensidad para curva I-V muestra 1 panel 2-14. Fuente propia.	88
Tabla 4.2: Valores de intensidad para curva I-V muestra 2 panel 2-14. Fuente propia.	88
Tabla 4.3: Valores de intensidad para curva I-V muestra 4 panel 2-14. Fuente propia.	89
Tabla 4.4: Valores de intensidad para curva I-V muestra 1 panel 2-15. Fuente propia	90
Tabla 4.5:Valores de intensidad para curva I-V muestra 2 panel 2-15. Fuente propia	90
Tabla 4.6: Valores de intensidad para curva I-V muestra 4 panel 2-15. Fuente propia	91

Tabla 4.7: muestra 1 de barridos analizados. Fuente propia	92
Tabla 4.8: muestra 2 de barridos analizados. Fuente propia	93
Tabla 4.9: Información de muestra 1 en soiling a 7 días para cada estado. Fuente propia	95
Tabla 4.10: Diferencia de eficiencias en cada caso para cada panel. Fuente propia	100
Tabla 4.11: Temperaturas en sistemas eléctricos. Fuente Propia	101
Tabla 4.12: Valores de venta de kW/h para los casos estudiados. Fuente propia	103
Tabla 4.13: Valores de ganancias y pérdidas en producción de energía solar. Fuente propia	104
Tabla 4.14: Valores de riesgo en paneles solares. Fuente propia	105
Tabla 4.15: Valores de riesgo en sistemas eléctricos. Fuente propia	105
Tabla 4.16: Tareas recomendadas para mantenimiento de la planta. Fuente propia	106