

ÍNDICE

1	Introducción.....	12
1.1	Actualidad de energía fotovoltaica en Chile.....	12
1.2	Estado del Arte.....	14
1.2.1	Efectos propios del panel.....	14
1.2.2	Efectos externos al panel.....	16
1.2.3	Métodos de limpieza.....	19
1.2.4	Recubrimientos.....	22
1.3	Objetivos.....	27
1.3.1	Objetivo General.....	27
1.3.2	Objetivos Específicos.....	27
1.4	Alcances y Limitaciones.....	27
1.5	Metodología.....	28
2	Diseño conceptual y alternativas de diseño.....	30
2.1	Análisis de requerimientos.....	30
2.2	Estructura base.....	30
2.2.1	Perfiles de aluminio tipo V-SLOT.....	31
2.2.2	Acero al carbono.....	31
2.2.3	Acero inoxidable.....	32
2.3	Mecanismo de transmisión del pulverizador.....	32
2.3.1	Transmisiones por tornillos sin fin.....	32
2.3.2	Transmisiones con banda sincrónicas y cadenas.....	33
2.4	Tipo de motores eléctricos.....	34
2.4.1	Motor DC.....	34
2.4.2	Motor Paso a paso.....	34
2.5	Sistemas de bombeo de fluidos.....	36
2.5.1	Bombas de desplazamiento positivo.....	36
2.5.2	Bombas cinéticas.....	37
2.5.3	Tanques presurizados hidroneumáticos.....	38
2.6	Tipo de boquillas de aspersión.....	39
3	Diseño detallado mecanismo de pulverizado.....	41
3.1	Descripción del sistema propuesto.....	41
3.2	Selección de boquilla de aspersión.....	44

3.2.1	Capacidad de la boquilla.	44
3.2.2	Gravedad específica.	45
3.2.3	Angulo de aspersión y cobertura.	48
3.2.4	Tamaño de gota.	49
3.2.5	Selección para realizar pedido a fabricante.	50
3.3	Mecanismo de transmisión.	52
3.3.1	Velocidad de avance de un tornillo sin fin.	52
3.3.2	Velocidad de avance de un sistema por correas con poleas gemelas.	53
3.4	Velocidad lineal del pulverizador.	54
3.5	Velocidad máxima del motor.	56
3.6	Selección eje lineal.	57
3.7	Rodamiento lineal.	58
3.7.1	Cálculo de la duración de vida de un rodamiento lineal.	59
3.8	Cálculo de longitud de la correa.	61
3.9	Selección del motor.	63
3.9.1	Carga lineal.	63
3.9.2	Inercia total del sistema.	63
3.9.3	Torque total del sistema.	65
3.10	Sistema de bombeo.	67
3.11	Ensamble del mecanismo transmisión.	71
4	Construcción.	74
4.1	Estructura base.	74
4.1.1	Corte de piezas.	74
4.1.2	Unión de piezas.	75
4.2	Estanque hidroneumático y tapas.	75
4.2.1	Torneado de cilindro para estanque.	76
4.2.2	Corte con plasma de tapa superior.	78
4.2.3	Torneado para superior.	78
4.2.4	Piping para conexión de estanque hidroneumático.	79
4.2.5	Cerradura de tapa superior estanque hidroneumático.	80
5	Instrumentación y control.	81
5.1	Diagrama de instrumentación y proceso.	81
5.2	Diagrama sistema total.	83

5.3	Estrategia de control.....	85
5.4	Lógica de control.....	86
5.5	Programación microcontrolador Arduino.	89
5.6	Interfaz usuario-máquina.	89
6	Puesta en marcha y pruebas experimentales.	90
7	Conclusiones.....	95
7.1	Mejoras y trabajos futuros.....	96
8	Bibliografía.....	97
9	Anexos.....	99
9.1	Planos.	99
9.1.1	Estructura base.	99
9.1.2	Estanque hidroneumático.....	100
9.1.3	Base para motor.....	101
9.1.4	Soporte porta boquilla.	102
9.2	Data sheet.	103
9.2.1	Arduino uno.....	103
9.2.2	Nema 17.	106
9.2.3	TB6600 Stepper motor driver.	110
9.2.4	Driver MOSFET IRF520.	112
9.2.5	Electroválvula solenoide 12 V.	118
9.3	Anexo A. Carta Gantt del plan de trabajo a seguir para la ejecución del proyecto.	122
9.4	Tabla utilizada para realizar cálculos de velocidad lineal de pulverizado.	124
9.5	Diagrama de factor de dureza Fh de ejes lineales.	125
9.6	Influencia de la duración de vida en rodamientos lineales.	126
9.7	Capacidad de carga en rodamientos lineales.....	126
9.8	Códigos.	127
9.8.1	Arduino.....	127
9.8.2	Código interfaz gráfica y comunicación con Arduino, Visual studio 2019. 133	

Lista de ilustraciones.

Ilustración 1: Evolución Capacidad Instalada ERNC Enero 2019. Fuente: Proyectos en Construcción e Inversión en sector Energía a Enero 2019.	13
Ilustración 2: Centrales en construcción Enero 2019. Fuente: Proyectos en Construcción e Inversión en sector Energía a Enero 2019.	13
Ilustración 3: Panel fotovoltaico policristalino.	15
Ilustración 4: Panel fotovoltaico monocristalino.	15
Ilustración 5: Panel fotovoltaico capa fina (amorfos).	16
Ilustración 6: Curva I-V para diferentes niveles de irradiancia [8].	17
Ilustración 7: Curva I-V para diferentes niveles de temperaturas [8].	17
Ilustración 8: curva P-V para diferentes niveles de temperatura [8].	18
Ilustración 9: Limpieza manual de paneles fotovoltaicos. Fuente: www.servia.cl.	20
Ilustración 10: Robot GEKKO Solar remoto. Fuente: www.serbot.ch.	21
Ilustración 11: Sistema de limpieza de paneles fotovoltaicos por rodillos. Fuente: Estación minera.	21
Ilustración 12: Esquema de un proceso de pulverizado con aire. Fuente: CES EduPack 2018.	24
Ilustración 13: Comparación de transmisión óptica en un vidrio recubierto con TiO ₂ y un vidrio natural [16].	25
Ilustración 14: Curva I-V para un PV con tratamiento superficial autolimpiante y otro sin recubrir [16].	26
Ilustración 15: Diagrama de organización para el desarrollo del trabajo.	29
Ilustración 16: Estructura base máquina de recubrimientos. Fuente: Elaboración propia. ...	30
Ilustración 17: Perfil aluminio V-SLOT. Fuente: www.cimech3d.cl	31
Ilustración 18: Perfil Acero A240ES. Fuente: www.sodimac.cl.	31
Ilustración 19: Perfiles acero inoxidable AISI 304. Fuente: www.acerosotero.cl.	32
Ilustración 20: Desplazador lineal por husillo.	33
Ilustración 21: Actuador lineal por correas dentadas.	33
Ilustración 22: Motor DC. Fuente: www.mechatronicstore.cl	34
Ilustración 23: Diagrama motor paso a paso unipolar.	35
Ilustración 24: Diagrama motor paso a paso bipolar.	35
Ilustración 25: Motor Paso a Paso bipolar. Fuente: www.cimech3d.cl.	36
Ilustración 26: Tipo de bombas de desplazamiento positivo. Fuente: Mecánica de fluidos, R. Mott.	37
Ilustración 27: Bombas desplazamiento positivo.	37
Ilustración 28: Tipo de bombas cinéticas. Fuente: Mecánica de fluidos, R. Mott.	38
Ilustración 29: Ejemplo bomba centrífuga.	38
Ilustración 30: Tanques presurizados. Fuente: www.nordson.com.	39
Ilustración 31: Esquema de funcionamiento. Fuente: Elaboración propia.	42
Ilustración 32: Cámara de recubrimientos propuesto. Fuente: Elaboración propia.	42
Ilustración 33: Cámara de recubrimientos propuesto. Fuente: Elaboración propia.	43
Ilustración 34: Cámara de recubrimientos propuesto. Fuente: Elaboración propia.	43
Ilustración 35: Cobertura teórica de aspersion. Fuente: Catálogo 70M de Spraying System Co ®.	48

Ilustración 36:Boquillas de aspersion plana, miniatura ProMax Quick Veejet modelo QMVV. Fuente: Catálogo 70M de Spraying System Co ®.	50
Ilustración 37: Composición de la boquilla de aspersion. Fuente: Catálogo 70M de Spraying System Co ®.	50
Ilustración 38: Datos de la boquilla. Fuente: Catálogo 70M de Spraying System Co ®.	52
Ilustración 39: Ejemplo para realizar pedido al proveedor de boquillas. Fuente: Catálogo 70M de Spraying System Co ®.	52
Ilustración 40. Código para realizar pedido boquilla seleccionada. Fuente: Elaboración propia.	52
Ilustración 41: Diagrama esquemático sistema transmisión de la boquilla. Fuente: Elaboración propia.	54
Ilustración 42: Polea GT2-60. diámetro eje 8mm.	56
Ilustración 44: Simulación del desplazamiento de un eje con diámetro:8mm, 10mm, 12mm, 16mm con una carga de 2kg en L/2.	58
Ilustración 45: Rodamiento lineal SC16UU. Fuente: www.chimech3d.cl.	59
Ilustración 46: Curva Torque-RPM motor paso a paso Nema 17 MS17HD6P4050. Fuente: www.moonsindustries.eu	67
Ilustración 47: Tanque hidroneumático. Fuente: Elaboración propia.	68
Ilustración 48: Tanque hidroneumático, vista explosionada. Fuente: Elaboración propia.	69
Ilustración 49: Declaración de cargas internas del tanque. Fuente: Elaboración propia.	70
Ilustración 50: Resultado de esfuerzos y deformación, presión interna 3 bar. Fuente: Elaboración propia.	71
Ilustración 51: Mecanismo pulverización propuesto. Fuente: Elaboración propia.	72
Ilustración 52: Mecanismo pulverización propuesto, vista explosionada. Fuente: Elaboración propia.	72
Ilustración 53: Estructura base. Fuente: Fabricación propia.	74
Ilustración 55: Estanque hidroneumático. Fuente: Elaboración propia.	76
Ilustración 56: Torno utilizado para fabricación de estanque hidroneumático. Fuente: Elaboración propia.	77
Ilustración 57: Cilindro refrentado en torno. Fuente: Elaboración propia.	77
Ilustración 58: Tapa superior de estanque cortada por plasma. Fuente: Elaboración propia.	78
Ilustración 59: Tapa superior estanque hidroneumático. Fuente: Elaboración propia.	79
Ilustración 60: Montaje piping en tapa superior. Fuente: Elaboración propia.	80
Ilustración 61: Ilustración 60: Montaje piping en tapa superior. Fuente: Elaboración propia.	80
Ilustración 62: Sistema de cerradura de estanque hidroneumático. Fuente: Elaboración propia.	81
Ilustración 63: Diagrama PI&D de planta de recubrimientos. Fuente: Elaboración propia.	82
Ilustración 64: Driver TB6600 y motor paso a paso Nema 17.	83
Ilustración 65: Diagrama de conexión. Fuente: Elaboración propia.	84
Ilustración 66: Caja estanco, componentes electrónicos y parada de emergencia. Fuente: Elaboración propia.	84
Ilustración 67: Diagrama de bloques planta de recubrimientos. Fuente: Elaboración propia.	88

Ilustración 68: Interfaz gráfica. Fuente: Elaboración propia.....	90
Ilustración 69: Puesta en marcha del sistema. Fuente: Elaboración propia.....	91
Ilustración 70: Puesta en marcha del sistema. Fuente: Elaboración propia.....	92
Ilustración 71: Motor nema 17 montado en planta. Fuente: Elaboración propia.	92
Ilustración 72: Montaje de sistema de transmisión montado en planta. Fuente: Elaboración propia.	93
Ilustración 73: Estanque hidroneumático montado en planta. Fuente: Elaboración propia.	94

Lista de Tablas.

Tabla 1: Funciones de recubrimientos con aplicaciones prácticas. [13]	23
Tabla 2: Tabla de cobertura teórica de aspersion. Fuente: Catálogo 70M Spraying System Co ®.	40
Tabla 3: Tamaño de gota. Fuente: Catálogo 70M de Spraying System Co ®.	41
Tabla 4: Factores de capacidad. Fuente: Catálogo 70M de Spraying System Co ®.....	45
Tabla 5: Propiedades físicas – químicas AEROXIDE® TiO2 P25. Fuente:[20].....	47
Tabla 6: Propiedades del agua.....	47
Tabla 7: Parámetros para elección de Angulo de boquilla.	48
Tabla 8: Valores de operación de boquilla.	49
Tabla 9: Tamaño de gota. Fuente: Catálogo 70M de Spraying System Co ®.	49
Tabla 10: Datos desempeño boquillas. Fuente: Catálogo 70M de Spraying System Co ®.	51
Tabla 11: Datos de boquilla seleccionada. Fuente: Elaboración propia.	51
Tabla 12: Distancias sistema de transmisión. Fuente: Elaboración propia.	54
Tabla 13: Propiedades de acero inoxidable martensítico 304. Fuente: CES EduPack 2018.	57
Tabla 14: Resultados de deformación máxima en ejes. Fuente: Elaboración propia.	58
Tabla 15: Factor de temperatura. Fuente: www.rodavigo.cl	61
Tabla 16: Valores motor requerido.....	66
Tabla 17: Datos de operación boquilla seleccionada para diseño.	69
Tabla 18: Propiedades físicas acero al carbono SAE1020. Fuente: CES EduPack 2018.....	70
Tabla 19: Elementos del sistema de pulverización propuesto. Fuente: Elaboración propia.	73
Tabla 21: Componentes de diagrama P&ID. Fuente: Elaboración propia.	82
Tabla 22: Componentes del sistema total. Fuente: Elaboración propia.	83
Tabla 23: Velocidades lineales necesarias para el actuador dependientes del espesor seleccionado. Fuente: Elaboración propia.	124