

---

# Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Problemática.....	14
1.2 Contexto industrial.....	14
1.2.1 Lugar de aplicación.....	15
1.3 Objetivos .....	16
1.3.1 Objetivo general .....	17
1.3.2 Objetivos específicos .....	17
1.4 Resultados tangibles esperados .....	18
1.5 Metodología.....	18
1.6 Motivación.....	21
Capítulo 2 ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA.....	22
2.1 Área de estudio e investigación.....	23
2.2 Antecedentes y elementos de estudio .....	23
2.2.1 Inspección visual .....	23
2.2.2 Estanques industriales.....	27
2.2.3 Plataforma de control.....	27
2.3 Problemática.....	29
2.3.1 Objeto a fotografiar.....	29
2.3.2 Calidad de la fotografía.....	30
2.3.3 Propiedades y selección de la cámara.....	31
2.3.3. a) Zoom Óptico .....	31
2.3.3. b) Sensor CMOS.....	32
2.3.3. c) Distancia Focal .....	32
2.3.3. d) Cámara seleccionada .....	34
2.3.4 Sistema mecatrónico de posicionamiento para la captura de la imagen ...	34
2.3.5 Texturización digital .....	37
Capítulo 3 DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	38
3.1 Resumen del prototipo desarrollado durante práctica profesional .....	39
3.2 Sistemas mecánicos .....	42
3.2.1 Sistema de transmisión para movimiento de paneo.....	43
3.2.2 Sistema de elevación vertical del robot .....	45

---

3.3	Sistemas electrónicos y de control.....	46
3.3.1	Funciones a controlar.....	47
3.3.2	Dispositivos y circuitos.....	56
3.4	Sistemas informáticos.....	63
3.4.1	Interfaz PC-Robot.....	64
Capítulo 4 FABRICACIÓN Y MONTAJE.....		68
4.1	Diseño prototipo 1.....	69
4.2	Sistema de transmisión.....	70
4.3	Plataforma de soporte prototipo 1.....	71
4.4	Dispositivos de control.....	72
4.5	Integración espacial.....	73
Capítulo 5 PUESTA EN MARCHA, PRUEBAS Y FALLAS DETECTADAS.....		75
5.1	Inicialización del sistema.....	76
5.2	Pruebas iniciales.....	76
5.2.1	Pruebas de zoom e inspección visual a distancia en tuercas de anclaje interno harnero de Digestor Planta Arauco-Licancel.....	77
	Reporte de inspección.....	78
5.2.2	Pruebas de zoom e inspección visual a distancia en uniones soldadas de Estanque de Licor Blanco Planta Arauco-Licancel.....	79
	Reporte de inspección.....	79
5.2.3	Detección de fallas.....	80
a)	Fallas mecánicas.....	80
b)	Fallas de control y ajuste a nivel de usuario.....	81
5.3	Ajustes y mejoras de control.....	82
5.3.1	Resolución y foco inicial.....	82
5.3.2	Velocidad de giro.....	83
5.3.3	Diseño e integración de control remoto.....	84
5.4	Pruebas Finales.....	85
5.4.1	Pruebas de zoom e inspección visual a distancia en Boquillas de Sopladores de Caldera Recuperadora de Planta Arauco-Valdivia.....	85
	Reporte de inspección.....	86
5.4.2	Pruebas de panorámica en interior de Hogar Caldera Recuperadora Planta Arauco-Valdivia.....	87
5.4.3	Método de observación de otros trabajos a través del robot.....	88

---

Capítulo 6 Propuestas de optimización .....	90
6.1 Mejoras mecánicas.....	91
6.1.1 Reemplazo motor PT (Pan-Tilt).....	91
6.1.2 Propuesta de elevación.....	92
6.1.3 Propuesta instalación horizontal.....	94
6.2 Mejoras informáticas .....	95
6.2.1 Propuesta de transmisión de datos Wi-Fi.....	96
6.3 Mejoras eléctricas .....	97
6.3.1 Sistema de energía autónomo.....	98
Capítulo 7 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	102
7.1 Análisis del proyecto.....	103
7.2 Trabajos futuros.....	105
Anexo A PLANOS PROTOTIPO.....	110
Anexo B HOJAS DE DATOS Y DOCUMENTOS TÉCNICOS.....	118

---

# **Índice de Tablas**

Tabla 1. Resumen de metodología.....	20
Tabla 2. Relación entre zoom aplicado y ángulo de giro del motor .....	47
Tabla 3. Relación zoom v/s distancia focal .....	52
Tabla 4. Relación zoom-ángulo-distancia focal .....	54
Tabla 5. Relación zoom v/s pasos para completar panorámica .....	54
Tabla 6. Especificaciones motor de pasos.....	62
Tabla 7. Especificaciones motor pt.....	92
Tabla 8. Especificaciones elevador Ayerbe 100/200.....	94
Tabla 9. Especificaciones celdas de batería RS.....	99

---

# Índice de Ilustraciones

Fig. 1.1 Estanques celulosa Arauco, planta Constitución .....	16
Fig. 1.2 Diagrama de objetivos. Al centro el objetivo general, rodeado de los objetivos específicos .....	17
Fig. 1.3 Diagrama de resultados esperados .....	18
Fig. 1.4 Metodología de trabajo.....	19
Fig. 2.1 Formato estándar de reporte de inspección visual de soldaduras .....	26
Fig. 2.2 Estanque de licores de planta Valdivia de celulosa Arauco. A la izquierda una vista superior exterior, a la derecha una vista desde el interior .....	27
Fig. 2.3 Arduino Duemillanove .....	28
Fig. 2.4 Arduino UNO .....	28
Fig. 2.5 Distintas vistas de una caldera estándar (modelada por software de la empresa), con objetivo a la zona del “hogar” .....	29
Fig. 2.6 Fotografía HD de un cordón de soldadura con zoom óptico de 10 X.....	30
Fig. 2.7 Ejemplo de fotografía panorámica .....	31
Fig. 2.8 Movimientos del lente en el zoom óptico .....	32
Fig. 2.9 Sensor CMOS .....	32
Fig. 2.10 Diagrama de distancia focal a 50 mm (1X).....	33
Fig. 2.11 Diagrama de distancia focal a 150 mm (3X) .....	33
Fig. 2.12 Mecanismo PT .....	35
Fig. 2.13 Esquema PTZ con cámara Canon .....	36
Fig. 2.14 Movimiento horizontal .....	36
Fig. 2.15 Movimiento vertical .....	37
Fig. 2.16 Ejemplo de texturización de un edificio .....	37
Fig. 3.1 Secuencia de imágenes del prototipo inicial.....	40
Fig. 3.2 Modificación al prototipo inicial, desarrollado en la práctica profesional.....	41
Fig. 3.3 Pasos para modificar propiedades de Huggins .....	41
Fig. 3.4 Secuencia de fotografías capturadas de manera manual .....	42
Fig. 3.5 Unión panorámica a través de Huggins modificado .....	42
Fig. 3.6 Motor de pasos RS 440-458 .....	43
Fig. 3.7 Sistema de transmisión.....	43
Fig. 3.8 Driver de motor de pasos, Geckodrive G215 .....	44
Fig. 3.9 Polea de anclaje guía, para instalación de elevador en ductos de ventilación de estanques .....	45
Fig. 3.10 Modelo de instalación de polea guía .....	46
Fig. 3.11 Instalación del prototipo mediante cuerdas .....	46
Fig. 3.12 Imágenes de linterna seleccionada .....	48
Fig. 3.13 Cámara Sanyo HD 4600p.....	49
Fig. 3.14 Partes del tablero trasero de la cámara Sanyo .....	50
Fig. 3.15 Grupo de lentes de una cámara estándar .....	50
Fig. 3.16 Ángulos de visión de un lente estándar .....	51
Fig. 3.17 Dimensiones de sensor de cámara Sanyo .....	53

---

Fig. 3.18 Fuente de poder 12 [V].....	55
Fig. 3.19 Repetidor Wi-Fi Range Expander Linksys.....	56
Fig. 3.20 Esquema de rectificador de una tensión .....	57
Fig. 3.21 Esquema general de la fuente seleccionada.....	57
Fig. 3.22 Esquema de los filtros de la fuente .....	57
Fig. 3.23 Diagrama de la escala de tensiones necesarias para los diferentes componentes del prototipo.....	58
Fig. 3.24 Circuitos de regulación de voltaje.....	58
Fig. 3.25 Diagrama de pasos de la señal de disparo a la cámara.....	59
Fig. 3.26 Esquema de conexión del disparo con opto 4N26 .....	59
Fig. 3.27 Esquema de conexión para el control de foco y zoom.....	60
Fig. 3.28 Conexión para el control del zoom .....	61
Fig. 3.29 Diagrama de conexiones del motor.....	62
Fig. 3.30 Conexión bobinas del motor.....	62
Fig. 3.31 Conexión Motor-Driver-Arduino.....	63
Fig. 3.32 Algoritmo de funcionamiento general del prototipo .....	64
Fig. 3.33 Esquema de las diferentes opciones de los menús de la interfaz .....	65
Fig. 3.34 Interfaz de control del prototipo .....	65
Fig. 3.35 Despliegue de opciones de menú de “zoom cámara” .....	66
Fig. 3.36 Despliegue de opciones de menú "tiempo de espera" .....	66
Fig. 3.37 Despliegue de opciones de menú “altura de estanque” .....	66
Fig. 3.38 Despliegue de opciones de menú “estado de luces” .....	67
Fig. 4.1 Diseño 1 carcasa en Rhino .....	69
Fig. 4.2 Diseño 2 carcasa en Rhino .....	69
Fig. 4.3 Diseño 3 carcasa en Inventor.....	70
Fig. 4.4 Secuencia de imágenes de fabricación de sistema de transmisión .....	71
Fig. 4.5 Secuencia de imágenes de plataformas de prototipo 1. a) plataforma inferior (izquierda), b) plataforma instalada (centro), c) plataforma con cámara (derecha) .....	71
Fig. 4.6 Imágenes de las luces de apoyo instaladas .....	72
Fig. 4.7 Conexión Cámara-Arduino-Driver .....	72
Fig. 4.8 Distribución espacial de los diferentes componentes en la plataforma inferior	73
Fig. 4.9 Prototipo 1 finalizado sin carcasa ni sistema de iluminación.....	74
Fig. 4.10 Prototipo 1 finalizado con carcasa 3 .....	74
Fig. 5.1 Diagrama de pasos de inicialización .....	76
Fig. 5.2 Diagrama de pruebas iniciales .....	77
Fig. 5.3 Secuencia de acercamiento a tuerca vía zoom óptico de la cámara.....	78
5.4 Modelo de reporte de inspección por zoom óptico.....	78
Fig. 5.5 Secuencia de acercamiento a cordón de soldadura con zoom óptico .....	79
Fig. 5.6 Modelo de reporte de inspección para zoom de soldaduras .....	80
Fig. 5.7 Ajuste de tensión del sistema de transmisión .....	81
Fig. 5.8 Mensaje de error de conexión de USB.....	82
Fig. 5.9 Pantalla de configuración de resolución para la captura de imágenes de la cámara .....	83
Fig. 5.10 Modificación de velocidad de pulso .....	83

---

Fig. 5.11 Control con dos botones para giro del motor .....	84
Fig. 5.12 Secuencia de imágenes de fabricación del control remoto.....	84
Fig. 5.13 Funciones de las teclas del control remoto.....	85
Fig. 5.14 Secuencia de imágenes de prueba de zoom a boquilla de sopladores de caldera planta Valdivia.....	86
Fig. 5.15 Modelo de reporte de inspección a boquillas de sopladores .....	87
Fig. 5.16 Secuencia de imágenes de prueba final de interior de caldera, planta Valdivia .....	87
5.17 Unión panorámica de interior de caldera.....	88
Fig. 5.18 Exterior de estanque almacenador de pulpa .....	88
Fig. 5.19 Interior de estanque con prototipo colgado .....	89
5.20 Secuencia de imágenes de inspección de tareas .....	89
Fig. 6.1 Motor PT con soporte para cámara .....	91
Fig. 6.2 Modelo de instalación de elevador.....	92
Fig. 6.3 Modelo de trabajo del elevador .....	93
Fig. 6.4 Elevador Ayerbe AY 100/200 .....	93
Fig. 6.5 Propuestas de carcasas industriales para prototipo .....	94
Fig. 6.6 Modelo de instalación vía elevador (izquierda), vía tensores (derecha) .....	95
Fig. 6.7 Propuesta de transmisión inalámbrica.....	96
Fig. 6.8 Equipo Wi-Fi, Nanostation Loco M5.....	97
Fig. 6.9 Lugar de instalación del repetidor Wi-Fi .....	97
Fig. 6.10 Secuencia de alimentación de respaldo .....	98
Fig. 6.11 Celda de baterías RS 538-9768.....	98
Fig. 6.12 Circuito de carga de baterías.....	99
Fig. 6.13 Circuito de control de carga con MAX 712/713.....	100
Fig. 6.14 Cargador de baterías Ni-Cd .....	101