

Índice

1	Introducción	1
1.1	Introducción General	1
1.2	Estado del Arte	2
1.2.1	Exportación de fruta desde Chile	2
1.2.2	Catastro Frutícola de la región del Maule y la provincia de Curicó	2
1.2.3	Proceso de packing de fruta	4
1.2.4	Proceso escobillado industrial de fruta	5
1.2.5	Lavado de la fruta	5
1.2.6	Secado o pre-secado de la fruta	5
1.2.7	Encerado de la fruta	6
1.3	Trabajos relacionados a mejoras de proceso en empresas del sector agroindustrial	6
1.4	Descripción del problema	7
1.5	Hipótesis	7
1.6	Objetivos	8
1.6.1	Objetivo general	8
1.6.2	Objetivos específicos	8
1.7	Alcances y limitaciones	8
1.7.1	Alcances	8
1.7.2	Limitaciones	9
1.8	Metodología	10
1.8.1	Procesos de ingeniería inversa	10
1.8.2	Estudio de estrategias de control	10
1.8.3	Planificación y generación de la propuesta de mejora	10
1.8.4	Análisis y desarrollo de la propuesta a desarrollar	10
1.8.5	Recopilación de datos y entrega de propuestas	10
2	Marco teórico	11
2.1	Redes de comunicación industrial	11
2.2	Sistemas de control en una red de comunicación industrial	11
2.3	Topología de redes	12
2.4	Modelo OSI	13
2.5	Modelo TCP/IP	14
2.6	Buses de campo	15
2.7	Redes de área local	16
2.8	Direccionamiento IP	16
2.9	Dispositivos de interconexión de redes	17
2.10	Ethernet IP	18
2.11	Controladores lógicos programables	19
2.12	HMI	20
2.13	Variadores de frecuencia	21
3	Desarrollo	22
3.1	Localización del proceso a desarrollar	22
3.2	Procesos de ingeniería inversa	24

3.2.1	Identificación de la secuencia del proceso de packing de manzanas . . .	24
3.2.2	Etapas que interactúan con el proceso de escobillado	25
3.2.3	Proceso de escobillado de manzanas	26
3.2.4	Gabinetes eléctricos	27
3.2.5	Sección de lavado	30
3.2.6	Sección de secado	32
3.2.7	Sección de encerado	33
3.3	Secuencia de funcionamiento del proceso de escobillado de manzanas	34
3.4	Formulación de la propuesta de actualización	36
3.4.1	Programación del PLC y desarrollo de la HMI	41
3.5	Diseño del gabinete eléctrico	47
3.5.1	Análisis de los gabinetes existentes	47
3.6	Consideraciones adicionales	49
3.7	Consideraciones para el diseño del gabinete eléctrico	50
3.7.1	Tensiones a utilizar	50
3.7.2	Distancia desde donde se alimenta el tablero	50
3.7.3	Conexión o puesta a tierra	50
3.7.4	Grado de protección IP	51
3.7.5	Cantidad total de motores	52
3.7.6	Cálculo para comprobar la caída de tensión y sección del conductor	53
3.7.7	Dimensionamiento y selección de interruptores termomagnéticos	53
3.7.8	Dimensionamiento y selección de Guardamotores y contactores	53
3.7.9	Comprobación de circuitos	58
3.7.10	Variadores de frecuencia Powerflex	60
3.7.11	Controlador lógico programable (PLC)	60
3.7.12	Fuente de alimentación	62
3.7.13	Pantalla HMI	62
3.7.14	Switch Ethernet	63
3.7.15	Otros elementos incorporados al gabinete	63
3.7.16	Gabinete	64
3.7.17	Estimación de costos del proyecto de actualización	65
3.8	Otras mejoras a considerar	66
3.8.1	Modernización de la cabina de control	66
3.8.2	Motores de escobilla	66
4	Conclusión	67
	Acrónimos	68
	Referencias	69
5	Anexos	72
A	Catastro de Componentes	72
B	Parámetros - Variadores de frecuencia	73

C	Velocidades de Escobillas - Línea 1	75
D	Conexionado - Gabinetes eléctricos	76
E	Instructivo de Manzanas	80
F	Buses de campo utilizados a nivel industrial	81
G	Tablas - Listado de motores	83
H	Tablas de selección de componentes	83
I	Simulacion de circuitos - Software CadeSimu	85
J	Desarrollo de la HMI	89
K	Componentes - Temperaturas de Funcionamiento	113
L	Diagrama de conexionado del gabinete eléctrico	114

Índice de figuras

1.1	Evolución de las exportaciones de fruta fresca y procesada entre los años 1999-2019 [1].	2
1.2	Superficie plantada por especie en las comunas de Curicó, Romeral y Teno en el año 2016 [2].	3
1.3	Superficie plantada por especie en las comunas de Curicó, Romeral y Teno en el año 2019 [3].	3
1.4	Diagrama de flujo de la fruta en un sistema de packing [4].	4
1.5	(a) Lavado de fruta, (b) Encerado la fruta [5].	6
2.1	Sistema de control centralizado [6].	11
2.2	Sistema de control distribuido [6].	12
2.3	Principales topologías de red [6].	13
2.4	Resumen de capas modelo OSI [7].	14
2.5	Comparación del modelo TCP/IP con el modelo OSI [8].	15
2.6	Características y ventaja de los buses de campo [9].	15
2.7	Formato básico de una dirección IP [8].	16
2.8	Clases de direcciones de una red IP [8].	17
2.9	Logo de Ethernet Industrial Protocol [7].	18
2.10	Resultados del estudio de HMS Networks [10].	18
2.11	Diagrama representativo en lenguaje escalera [11].	19
2.12	Ejemplos de HMI, Rockwell Automation [12].	20
2.13	Etapas de funcionamiento de un VFD [13].	21
3.1	Ubicación geográfica Cenfrut, Curicó [14].	22
3.2	Volumen anual de fruta procesada en la planta Cenfrut.	22
3.3	Layout del proceso de packing de manzanas, Cenfrut.	23
3.4	Etapas del proceso de packing de manzanas.	24
3.5	Etapas que interactúan con el proceso de escobillado.	25
3.6	(a) Canales de agua y elevador, (b) Túneles de secado, Cenfrut.	25
3.7	Sistema de elevación, almacenamiento de desechos.	26
3.8	Vista general del proceso de escobillado de manzanas (Línea uno).	26
3.9	Ubicación de los gabinetes dentro de la línea uno.	27
3.10	Gabinete eléctrico 1, Cenfrut.	27
3.11	Gabinete eléctrico 2, Cenfrut.	28
3.12	Estracto del catastro de componentes.	28
3.13	Parámetros variadores de frecuencia, Cenfrut.	29
3.14	Valores potenciómetros del sistema de control de velocidad actual, Cenfrut.	29
3.15	<i>Gabinete 2.</i> (a) Variadores periodo inicial; (b) Variadores periodo final, Cenfrut.	29
3.16	Estracto del catastro de componentes.	30
3.17	Ilustración de la sección de lavado dentro de la línea uno.	30
3.18	Sección de lavado de fruta, Cenfrut.(a) Preenjuague de la fruta; (b) Enjuague de la fruta.	31
3.19	Sección de lavado de fruta, Cenfrut.(a) Sistema de inyección de detergente; (b) Tinajas de agua para el sistema de lavado.	31
3.20	Ilustración de la sección de secado dentro de la línea uno.	32

3.21	Secadores industriales instalados en la sección de secado, Cenfrut.	32
3.22	Elementos de la sección de secado, Cenfrut.	32
3.23	Ilustración de la sección de encerado dentro de la línea uno.	33
3.24	Sistema de inyección de fungicida y cera, Cenfrut.	33
3.25	Sistema dispersor de producto (fungicida y cera) en la fruta, Cenfrut. . . .	34
3.26	Ventilador de la sección de encerado, Cenfrut.	34
3.27	Ilustración de la activación de elementos - Sección de encerado.	35
3.28	Ilustración de la activación de elementos - Sección de secado.	35
3.29	Ilustración de la activación de elementos - Sección de lavado.	35
3.30	Variadores <i>Allen Bradley</i> encontrados en el sector de packing.	36
3.31	Cuadros de diálogo para configuración red en <i>RSLinx Classic</i> , (a) Opciones de comunicación (<i>Configure Drivers</i>); (b) Selección del tipo de controlador (<i>EtherNet/IP Driver</i>); (c) Controlador configurado y disponible, Catálogo <i>Allen Bradley</i> [15].	37
3.32	Configuración de una red EtherNet/IP, utilizando un controlador <i>CompactLogix</i> y variador de frecuencia <i>Powerflex 525</i> , catálogo <i>Allen Bradley</i> [16]. . . .	38
3.33	Cuadros de diálogo para la configuración del PLC en la red, (a) Adicionar un nuevo controlador (<i>New Controller</i>) ; (b) Configuración de la IP del controlador (<i>Internet Protocol Settings</i>); (c) Controlador configurado y disponible en la red, catálogo <i>Allen Bradley</i> [16].	38
3.34	Cuadros de diálogo para configuración de un nuevo controlador (VFD) a la red. (a) Añadir nuevo módulo (<i>New Module</i>); (b) Selección del tipo de controlador (<i>Powerflex 525 – EENET</i>); (C) Configuración de la IP del controlador (<i>Ethernet Address</i>), Catálogo <i>Allen Bradley</i> [16].	39
3.35	Parámetros VFD. (a) Parámetros de entrada (<i>Controller Input Tags</i>); (b) Parámetros de salida (<i>Controller Output Tags</i>), Catálogo <i>Allen Bradley</i> [16].	39
3.36	Cuadros de diálogo para agregar una <i>Add – On instruction</i> , Catálogo <i>Allen Bradley</i> [17].	40
3.37	Ejemplo de visualización de una <i>Add – On Instruction</i> , Catálogo <i>Allen Bradley</i> [17].	41
3.38	Enlace del Simulador de PLC con el software <i>ISPSoft</i>	41
3.39	HMI - Línea uno. (a) Tipos de usuarios; (b) Acceso incorrecto y Nivel de clave insuficiente.	42
3.40	HMI - Línea uno. (a) Bloqueo selectivo; (b) Información de suministro de productos a la fruta.	43
3.41	HMI - Línea uno. (a) Activación manual de elementos mediante la HMI; (b) Activación manual de elementos mediante switches, Cenfrut.	43
3.42	HMI - Línea uno. (a) Configuración de las velocidades de escobilla; (b) Potenciómetros utilizados para configuración de velocidad, Cenfrut.	44
3.43	Enlace HMI-PLC. (a) Subrutina de configuración de las velocidades de escobilla, (b) Subrutina principal (lados 1 y 2).	45
3.44	(a) Configuración de las velocidades de escobilla, (b) Potenciómetros actuales, Cenfrut.	46
3.45	Señalética de la señal de paro (Paro de emergencia).	46
3.46	Placa referente a tableros eléctricos, Pliego técnico RIC N°2.	48
3.47	Distancia desde donde se alimentará el gabinete.	50

3.48	Puesta a Tierra, Cenfrut.	51
3.49	Grados de Protección IP.	52
3.50	Puntos de acople de los elementos y sus bloques auxiliares.	54
3.51	(a) Guardamotor Schneider serie GV2M, (b) Contactor Schneider serie LC1D09.	55
3.52	(a) Contacto auxiliar de señalización GVAE1, (b) Contactor auxiliar de falla (95-96) GVAD0110, (c) Bloque de asociación entre el guardamotor y el contactor GV2 AF3.	55
3.53	Puntos de acople de los elementos y sus bloques auxiliares.	56
3.54	Coordinación de elementos seleccionada para los arranques Estrella-triángulo.	57
3.55	Protección motores de escobilla, 140M Allen Bradley.	57
3.56	Simulación estado inicial con señal de activación guardamotor, <i>CadeSimu</i>	58
3.57	Simulación estado activo (ON), <i>CadeSimu</i>	59
3.58	Simulación de falla, <i>CadeSimu</i>	59
3.59	Variador de frecuencia Powerflex 525 [18].	60
3.60	Controlador Lógico programable 1769-L33ERM [19].	61
3.61	Fuente de alimentación 1769-PA4 [20].	62
3.62	Pantalla HMI PanelView 5310 [20].	63
3.63	Switch Ethernet serie Stratix 2000 [20].	63
3.64	Ilustración del gabinete eléctrico desarrollado en AutoCAD.	64
3.65	Ejemplo de la tecnología actual de la cabina de control.	66
3.66	Ejemplos condiciones de los motores de escobilla.	66
A.1	Catastro de componentes - Gabinete 1.	72
A.2	Catastro de componentes - Gabinete 1.	72
A.3	Catastro de componentes - Gabinete 1, Puerta.	73
A.4	Catastro de componentes - Gabinete 2.	73
B.1	Parámetros de configuración - Powerflex 4.	73
B.2	Parámetros de configuración - KEB 4.	74
B.3	Parámetros de configuración - Powerflex 525.	74
C.1	Equivalencia de la frecuencia en Hz y la velocidad obtenida en las escobillas en rpm, Lado 1.	75
C.2	Equivalencia de la frecuencia en Hz y la velocidad obtenida en las escobillas en rpm, Lado 2.	75
D.1	Conexiones - Gabinete 1, Rieles DIN 1 y 2.	76
D.2	Conexiones - Gabinete 1, Rieles DIN 3 y 4.	76
D.3	Conexiones - Gabinete 1, Riel DIN 5.	77
D.4	Conexiones - Gabinete 1, Rieles DIN 6 y 7.	77
D.5	Conexiones - Gabinete 1, Rieles DIN 8 y 9.	78
D.6	Conexiones - Gabinete 1 Riel DIN 10.	78
D.7	Conexiones - Gabinete 1 Riel DIN 11.	78
D.8	Conexiones - Puerta Gabinete 1.	79
E.1	Instructivo de encerado manzanas, Cenfrut.	80
F.1	Buses de campo.	81
F.2	Definiciones de tipos de tableros eléctricos.	82
G.1	Listado de motores de la línea uno, Cenfrut.	83
H.1	Selección de contactores para arranque estrella-delta.	83
H.2	Selección de protección para el variador Powerflex 525.	84

I.1	Arranque directo, simulación estado inicial, <i>CadeSimu</i>	85
I.2	Arranque directo , simulación estado activo (ON), <i>CadeSimu</i>	85
I.3	Arranque directo, simulación de falla, <i>CadeSimu</i>	86
I.4	Arranque directo monofásico, simulación estado inicial, <i>CadeSimu</i>	86
I.5	Arranque directo monofásico, simulación estado activo (ON), <i>CadeSimu</i>	87
I.6	Arranque directo monofásico, simulación de falla, <i>CadeSimu</i>	87
I.7	Arranque estrella-triángulo, simulación estado inicial, <i>CadeSimu</i>	88
I.8	Arranque estrella-triángulo , simulación estado activo (ON), <i>CadeSimu</i>	88
I.9	Arranque estrella-triángulo, simulación de falla, <i>CadeSimu</i>	89
J.1	Pantalla de inicio.	89
J.2	Pantalla de selección de usuario.	90
J.3	Pantalla de selección de la variedad de manzana.	90
J.4	Pantalla de inicio secuencia de escobillado - Grupo Rojas.	91
J.5	Pantalla de inicio secuencia de escobillado - Grupo Galas.	91
J.6	Pantalla de inicio secuencia de escobillado - Grupo Fuji, Pink Lady, Grupo Club, Granny.	92
J.7	Pantalla de información de adición de productos - Grupo Fuji, Pink Lady, Grupo Club, Granny.	92
J.8	Pantalla de inicio usuario Mantenimiento.	93
J.9	Pantalla de selección Manual o Automático.	93
J.10	Pantalla de activación manual Lado 1.	94
J.11	Pantalla de activación manual Lado 2.	94
J.12	Pantalla de configuración de velocidades de escobilla - Grupo Galas.	95
J.13	Pantalla de configuración de velocidades de escobilla Lado 2 - Grupo Galas.	95
J.14	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	96
J.15	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	97
J.16	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	98
J.17	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	99
J.18	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	100
J.19	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	101
J.20	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	102
J.21	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	103
J.22	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	104
J.23	Programación desarrollada para el PLC, ISPSoft.	105
J.24	Programación desarrollada para el PLC - Sección de encerado, ISPSoft.	106
J.25	Programación desarrollada para el PLC - Sección de secado, ISPSoft.	107
J.26	Programación desarrollada para el PLC - Sección de secado, ISPSoft.	108
J.27	Programación desarrollada para el PLC - Sección de lavado, ISPSoft.	109
J.28	Programación desarrollada para el PLC - Sección de lavado, ISPSoft.	110
J.29	Programación desarrollada para el PLC - Configuración de las velocidades de escobilla, ISPSoft.	111
J.30	Programación desarrollada para el PLC - Configuración de las velocidades de escobilla, ISPSoft.	112
J.31	Programación desarrollada para el PLC - Configuración de las velocidades de escobilla, ISPSoft.	113
K.1	Temperatura de funcionamiento de los componentes.	113

L.1	Portada, AutoCAD.	114
L.2	Índice, AutoCAD.	114
L.3	Diagrama unilineal Lado 1, AutoCAD.	115
L.4	Diagrama unilineal Lado 2, AutoCAD.	115
L.5	Energización del gabinete eléctrico, AutoCAD.	116
L.6	Distribución eléctrica 220VAC/24VDC, AutoCAD.	116
L.7	Conexiones circuito alumbrado, tomacorriente y termostato, AutoCAD.	117
L.8	Conexión de elementos de encerado - Lado 1, AutoCAD.	117
L.9	Conexión de elementos de secado - Lado 1, AutoCAD.	118
L.10	Conexión de elementos de lavado - Lado 1, AutoCAD.	118
L.11	Conexión de elementos de encerado - Lado 2, AutoCAD.	119
L.12	Conexión de elementos de secado - Lado 2, AutoCAD.	119
L.13	Conexión de elementos de lavado - Lado 2, AutoCAD.	120
L.14	Estructura PLC 1769-L33ERM + módulos de entrada y salida, AutoCAD.	120
L.15	Conexión del módulo de entradas digitales 1769-IQ32, AutoCAD.	121
L.16	Conexión del módulo de entradas digitales 1769-IQ32, AutoCAD.	121
L.17	Conexión del módulo de salidas digitales 1769-OW6, AutoCAD.	122
L.18	Conexión del módulo de salidas digitales 1769-OW6, AutoCAD.	122
L.19	Diagrama de conexión - Paro de emergencia, AutoCAD.	123
L.20	Gabinete eléctrico, AutoCAD.	123
L.21	Glosario, AutoCAD.	124
L.22	Glosario, AutoCAD.	124