

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Optimización e implementación del sistema de control
basado en variadores de frecuencia y PLC S7-300
integrados a un HMI, para mejorar el funcionamiento de las
turbinas de absorción de granos durante los embarques en
el Puerto de Matarani Tisur**

Marco Antonio Chevarria Huarsaya

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Arequipa, 2025

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A Decano de la Facultad de Ingeniería
DE Jonathan López Chacón
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA 17 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Optimización e Implementación del Sistema de Control Basado en Variadores de Frecuencia y PLC S7-300 Integrados a un HMI, para Mejorar el Funcionamiento de las Turbinas de Absorción de Granos Durante los Embarques en el Puerto de Matarani Tisur

Autores:

1. Marco Antonio Chevarria Huarsaya – EAP. Ingeniería Eléctrica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 12 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | | | |
|---|----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI | ☒ | NO | ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (40): | SI | ☒ | NO | ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI | ☐ | NO | ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

INDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
INDICE	iv
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I	1
ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA	1
1.1. Datos generales de la empresa	1
1.2. Actividades principales de la empresa	1
1.2.1. Mantenimiento eléctrico e instrumentación	2
1.2.2. Mantenimiento especializado de variadores de frecuencia	2
1.2.3. Análisis predictivo de máquinas eléctricas.....	3
1.2.4. Desarrollo de proyectos eléctricos e instrumentación	4
1.3. Reseña histórica de la empresa.....	4
1.4. Organigrama de la empresa.....	4
1.5. Visión y Misión.....	5
1.5.1. Misión.....	5
1.5.2. Visión.....	5
1.6. Documentos administrativos	6
1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales	6
1.8. Descripción del cargo y responsabilidades del bachiller en la empresa	7
CAPÍTULO II	10
ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES.....	10
2.1. Diagnóstico situacional del proyecto	10
2.1.1. Torre de absorción Vigan	10
2.2. Identificación de oportunidades o necesidad en el área de actividad profesional.....	11

2.3. Objetivos de la actividad profesional	11
2.3.1. Objetivo general	11
2.3.2. Objetivos específicos	12
2.4. Justificación de la actividad profesional	12
2.4.1. Teórica	12
2.4.2. Práctica	12
2.4.3. Económica	12
2.4.4. Técnica.....	13
2.5. Resultados esperados.....	13
CAPÍTULO III.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. Bases teóricas de las actividades realizadas	15
3.1.1. Motores eléctricos.....	15
3.1.2. Funcionamiento de los motores eléctricos.....	15
3.1.3. Tipos de motores	16
3.1.3.1. Motores de corriente continua (directa).....	16
3.1.3.2. Motores de corriente alterna	17
3.1.4. Aplicaciones de los motores eléctricos.....	18
3.1.5. Tipos de arranque de un motor de inducción trifásico	19
3.1.5.1. Arranque directo	20
3.1.5.2. Arranque estrella triángulo	21
3.1.5.2. Arranque con arrancadores suaves.....	22
3.1.5.3. Arranque con variadores de velocidad.....	24
3.1.6. Variadores de velocidad (VFD).....	26
3.1.6.1. Evolución del control de los variadores de velocidad	26
3.1.6.2. Control de frecuencia con PWM.....	27
3.1.6.3. Control de vector de flujo mediante PWM	28
3.1.6.4. Control directo del par DTC	29
3.1.6.5. Control de torque	30
3.1.6.6. Ventajas y desventajas de los variadores de velocidad.....	32
3.1.7. Aplicaciones de los arrancadores suaves y variadores de frecuencia.....	34
3.1.8. Comparativa entre el variador de velocidad y un arrancador suave.....	34

3.1.9. Armónicos generados por variadores de frecuencia.....	35
3.1.9.1. Como mitigar la distorsión armónica.....	36
3.1.10. Controladores lógicos programables (PLC)	37
3.1.10.1. Constitución física	38
3.1.10.2. Unidades HMI.....	39
3.1.11. Programación de los controladores lógicos programables (PLC)	40
3.1.11.1. Programación de bloques funcionales	41
3.1.11.2. Programación Ladder.....	42
CAPÍTULO IV.....	44
DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES.....	44
4.1. Descripción de actividades profesionales	44
4.1.1. Enfoque de las actividades	44
4.1.2. Alcance de las actividades.....	44
4.1.3. Entregables de las actividades	45
4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional.....	45
4.2.1. Metodologías	45
4.2.2. Técnicas	45
4.2.2.1. Difusiones y capacitaciones	46
4.2.2.2. Planificación y supervisión	46
4.2.3. Instrumentos	46
4.2.4. Equipos y materiales utilizados	46
4.3. Ejecución de las actividades profesionales	49
4.3.1. Levantamiento de información técnica en campo.	49
4.3.2. Elaboración de plan de actividades y recursos	60
4.3.3. Desarrollo de ingeniería.....	66
4.3.3.1. Filosofía de control	66
4.3.3.2. Diseño eléctrico de fuerza y control.	68
4.3.4. Actividades de campo.....	89
4.3.4.1. Desconexión de softstarter y motor	89
4.3.4.2. Desmontaje de equipos electromecánicos	91
4.3.4.3. Montaje de tableros, turbinas y motores eléctricos.....	93
4.3.4.4. Alineamiento de motores y turbinas	94

4.3.4.5. Conexión de equipos eléctricos.....	95
4.3.4.6. Configuración de variadores de velocidad.....	98
4.3.4.7. Nueva configuración de lógica de control de PLC	107
4.3.4.8. Nueva configuración de HMI	130
4.3.5. Ajustes finales y comisionamiento	131
CAPÍTULO V	137
RESULTADOS.....	137
5.1. Resultados finales de las actividades realizadas	137
5.1.1. Puesta en marcha de variadores de velocidad	137
5.1.2. Nueva filosofía de control de las turbinas de absorción	142
5.1.3. Instalación y montaje de nuevo sistema de absorción de granos	146
5.2. Logros alcanzados	148
5.2.1. Reducción de corriente de arranque	148
5.3. Dificultades encontradas	149
5.4. Planteamiento de mejoras.....	150
5.5. Aporte del bachiller en la empresa.....	150
5.5.1. En el aspecto cognoscitivo	150
5.5.2. En el aspecto procedimental	151
5.5.3. En el aspecto actitudinal	151
CONCLUSIONES	152
RECOMENDACIONES.....	154
BIBLIOGRAFÍA	160
ANEXO.....	161

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones arrancadores y variadores	34
Tabla 2. Métodos de atenuación de armónicos.....	37
Tabla 3. Listado de instrumentos utilizados.....	46
Tabla 4. Listado de equipos utilizados.....	47
Tabla 5. Listado de materiales utilizados	47
Tabla 6. Niveles de corriente de carga con un solo motor	53
Tabla 7. Listado de materiales directos	57
Tabla 8. Listado de equipos eléctricos y mecánicos	59
Tabla 9. Personal propuesto para el proyecto.....	62
Tabla 10. Equipos propuestos para el proyecto.....	62
Tabla 11. Herramientas propuestas para el proyecto	63
Tabla 12. Epp propuesto para el proyecto.....	65
Tabla 13. Consumibles propuestos para el proyecto.....	65
Tabla 14. Equipos eléctricos principales	69
Tabla 15. Especificaciones técnicas del motor	69
Tabla 16. Especificaciones técnicas del variador.....	70
Tabla 17. Equipos de protección de circuito de fuerza.....	71
Tabla 18. Especificaciones técnicas de conductor eléctrico de potencia	72
Tabla 19. Especificaciones técnicas de barras de cobre 50x10.....	73
Tabla 20. Especificaciones técnicas de barras de cobre 30x5.....	73
Tabla 21. Especificaciones técnicas protección principal	74
Tabla 22. Especificaciones técnicas protección de variadores	75
Tabla 23. Equipos para el control y protección de los ventiladores de los motores de las turbinas....	77
Tabla 24. Especificaciones técnicas de los ventiladores	77
Tabla 25. Especificaciones técnicas del guardamotor termomagnético.....	78
Tabla 26. Especificaciones técnicas de contactor.....	79
Tabla 27. Especificaciones técnicas de interruptor seccionador.....	80
Tabla 28. Especificaciones técnicas de conductor de potencia de ventiladores.....	81
Tabla 29. Entradas y salidas para nuevo control de equipos	83
Tabla 30. Señales utilizadas en los variadores de velocidad 1 y 2	84
Tabla 31. Señales utilizadas para el control de los ventiladores.....	86
Tabla 32. Entradas y salidas designadas para los variadores	98
Tabla 33. Entradas y salidas nueva lógica de control	107
Tabla 34. Parámetros de usuario de motor 1 y 2.....	134
Tabla 35. Programa de mantenimiento de variadores.....	157

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Organigrama de la empresa.	5
<i>Figura 2.</i> Esquema eléctrico de un arranque directo	20
<i>Figura 3.</i> Esquema eléctrico de un arranque estrella triángulo	22
<i>Figura 4.</i> Esquema eléctrico de un arranque suave	23
<i>Figura 5.</i> Tipo de arranque, voltaje, par y corriente	24
<i>Figura 6.</i> Función básica de un variador de velocidad	25
<i>Figura 7.</i> Porcentaje de corriente nominal en los tipos de arranque.....	25
<i>Figura 8.</i> Bucle de control de VFD con control por PWM	27
<i>Figura 9.</i> Tecnología de modulación de impulsos de anchura PWM.....	28
<i>Figura 10.</i> Bucle de control de VFD con control vector de flujo mediante la PWM	29
<i>Figura 11.</i> Control de velocidad y control de par del modo DTC	30
<i>Figura 12.</i> Bucle de control de par	32
<i>Figura 13.</i> Resumen de aplicación de arrancador suave y VFD.....	35
<i>Figura 14.</i> Arquitectura de un PLC	38
<i>Figura 15.</i> PLC SIEMENS S7-300.....	39
<i>Figura 16.</i> Pantalla HMI SIEMENS.....	40
<i>Figura 17.</i> Software de programación TIA PORTAL SIEMENS.....	41
<i>Figura 18.</i> Ejemplo de programa en diagrama de bloques	42
<i>Figura 19.</i> Ejemplo de programa en diagrama Ladder	43
<i>Figura 20.</i> Torre Vigan.....	50
<i>Figura 21.</i> Accionamiento de turbinas de absorción	50
<i>Figura 22.</i> Placa de datos de motor	51
<i>Figura 23.</i> Arrancador suave	51
<i>Figura 24.</i> Tablero de control.....	52
<i>Figura 25.</i> Acople de transmisión de motor y turbinas	52
<i>Figura 26.</i> Niveles de carga con un solo motor en vacío, 50, 70 y 90%	53
<i>Figura 27.</i> Diagramas eléctricos de tablero de control y softstarter	56
<i>Figura 28.</i> Equipos y materiales electromecánicos	60
<i>Figura 29.</i> Diagrama de Gantt del proyecto	61
<i>Figura 30.</i> Diagrama trifilar de turbinas 1 y 2.....	76
<i>Figura 31.</i> Diagrama trifilar de los ventiladores de los motores de turbinas.....	82
<i>Figura 32.</i> Diagrama de control de variadores de frecuencia 1	85
<i>Figura 33.</i> Diagrama de control de variadores de frecuencia 2	85
<i>Figura 34.</i> Diagrama de control de ventiladores de motores de turbinas 1 y 2	87
<i>Figura 35.</i> Diagrama de control de conexiones de entradas de PLC.....	88

<i>Figura 36.</i> Diagrama de conexiones de salidas digitales del PLC.....	88
<i>Figura 37.</i> Desconexión de softstarter, motor y tablero de control	90
<i>Figura 38.</i> Desajuste de motor, turbinas y componentes mecánicos.....	90
<i>Figura 39.</i> Traslado de motores, variadores y componentes electromecánicos.....	91
<i>Figura 40.</i> Elaboración de arriostre y apertura de techo.....	92
<i>Figura 41.</i> Izaje para el retiro de motor, turbinas y componentes	92
<i>Figura 42.</i> Izaje para el montaje de variadores, motores, turbinas y componentes	93
<i>Figura 43.</i> Vista de planta de posición final de montaje de equipos	94
<i>Figura 44.</i> Acople y alineamiento de motores y turbinas.....	95
<i>Figura 45.</i> Pruebas de resistencia de aislamiento de motores	95
<i>Figura 46.</i> Tendido de cables, terminaciones y conexiones	96
<i>Figura 47.</i> Tendido de cable de control y fuerza, ajuste y conexionado	97
<i>Figura 48.</i> Conexionado de control y fuerza para el control de variadores y ventiladores	98
<i>Figura 49.</i> Gráfica de tiempo de reforming de capacitores	99
<i>Figura 50.</i> Conexión con variador por medio de software Drive Composer Pro	100
<i>Figura 51.</i> Pantalla de inicio Drive Composer Pro.....	100
<i>Figura 52.</i> Datos nominales del motor	101
<i>Figura 53.</i> Parámetros de motor en software.....	101
<i>Figura 54.</i> Parámetros de relés de salida de variador	102
<i>Figura 55.</i> Parámetros de modo de operación	102
<i>Figura 56.</i> Parámetros del arranque, paro y dirección.....	103
<i>Figura 57.</i> Parámetros del modo de arranque y paro.....	104
<i>Figura 58.</i> Parámetros de selección de referencia de velocidad.....	104
<i>Figura 59.</i> Parámetros de referencia de velocidad de rampa.....	104
<i>Figura 60.</i> Parámetros de límites.....	105
<i>Figura 61.</i> Parámetros de protección térmica del motor.....	106
<i>Figura 62.</i> Parámetros de configuración relativos al Hardware del variador	106
<i>Figura 63.</i> Byppas para nuevo compresor	108
<i>Figura 64.</i> Segmento de compresor	109
<i>Figura 65.</i> Switch de control de falla de compresor.....	110
<i>Figura 66.</i> Sobre temperatura de compresor	110
<i>Figura 67.</i> Regulador de Turbo	111
<i>Figura 68.</i> Arranque de variador 1	113
<i>Figura 69.</i> Arranque de ventilador de motor 1	115
<i>Figura 70.</i> Retroalimentación de ventilador de motor 1.....	116
<i>Figura 71.</i> Control de switch de falla de ventilador de motor 1	116
<i>Figura 72.</i> Arranque de variador 2	119

<i>Figura 73. Arranque de ventilador 2</i>	120
<i>Figura 74. Switch de control de falla de ventilador de motor 2</i>	121
<i>Figura 75. Retroalimentación de ventilador de motor 2</i>	122
<i>Figura 76. Falla en el orden de trabajo de variador 1</i>	123
<i>Figura 77. Falla en el orden de trabajo de variador 2</i>	124
<i>Figura 78. Falla de variador 1</i>	124
<i>Figura 79. Falla de variador 2</i>	125
<i>Figura 80. Falla de Control de Switch Auto de variador 1</i>	126
<i>Figura 81. Falla de Control de Switch Auto de variador 2</i>	127
<i>Figura 82. Sistema hidráulico</i>	128
<i>Figura 83. Transportador de pórtico</i>	128
<i>Figura 84. Transportador de pórtico / carga lateral de silo</i>	129
<i>Figura 85. Máquina lista para succión</i>	129
<i>Figura 86. HMI para el estado del motor con Softstarter</i>	131
<i>Figura 87. Pantalla HMI para el estado de motor y VFD 1</i>	131
<i>Figura 88. Motor desacoplado</i>	132
<i>Figura 89. Parámetros de ID RUN</i>	132
<i>Figura 90. Gráficas de funcionamiento durante ID run de motor</i>	133
<i>Figura 91. Parámetros de usuario de motor 1</i>	134
<i>Figura 92. Parámetros de usuario de motor 2</i>	134
<i>Figura 93. Gráfica de arranque de turbina 1 acoplado sin carga</i>	135
<i>Figura 94. Gráfica de arranque de turbina 2 acoplado sin carga</i>	136
<i>Figura 95. Gráfica de arranque de turbina 1</i>	137
<i>Figura 96. Gráfica de operación en barrido de granos turbina 1</i>	138
<i>Figura 97. Gráfica de operación en barrido de granos cambios de absorción turbina 1</i>	138
<i>Figura 98. Gráfica de operación de barrido constante turbina 1</i>	139
<i>Figura 99. Gráfica de operación barrido de granos baja carga turbina 1</i>	139
<i>Figura 100. Gráfica de operación barrido de granos carga variable turbina 1</i>	140
<i>Figura 101. Gráfica de operación carga constante turbina 1</i>	140
<i>Figura 102. Gráfica de operación barrido de granos carga variable turbina 2</i>	141
<i>Figura 103. Gráfica de operación carga constante turbina 2</i>	141
<i>Figura 104. Gráfica de operación barrido de granos baja carga turbina 2</i>	142
<i>Figura 105. Switch de control de variador y ventilador turbina 1</i>	143
<i>Figura 106. Nuevas conexiones de fuerza y control</i>	144
<i>Figura 107. Panel de control de Variador de velocidad</i>	144
<i>Figura 108. Resultado final de la instalación y montaje</i>	147
<i>Figura 109. Gráfica de corriente de arranque con softstarter</i>	148

<i>Figura 110.</i> Gráfica de corriente de arranque con variador.....	149
<i>Figura 111.</i> Verificación de señales actuales en panel de variador.....	154
<i>Figura 112.</i> Intervalos de lubricación en horas para rodamientos de bolas.....	155
<i>Figura 113.</i> Interruptor principal 380V	156
<i>Figura 114.</i> Variadores de velocidad.....	156
<i>Figura 115.</i> Placa de datos de variadores de velocidad	158
<i>Figura 116.</i> Placa de datos de motor de turbina	158
<i>Figura 117.</i> Placa de datos de ventilador de motor de turbina	159

RESUMEN

En el trabajo de “Optimización e implementación del sistema de control basado en variadores de frecuencia y PLC S7-300 integrados a un HMI, para mejorar el funcionamiento de las turbinas de absorción de granos durante los embarques en el puerto de Matarani Tisur”. Se tiene como finalidad informar las actividades realizadas en la optimización e implementación del sistema de control para mejorar el funcionamiento de las turbinas de absorción durante los embarques en el puerto de Matarani. Siendo parte de un equipo de trabajo con compromiso y decisión, con el objetivo de brindar el mejor servicio, con calidad y en beneficio profesional de ambas partes.

Ejecutar la optimización e implementación del sistema de control para mejorar el funcionamiento de las turbinas de absorción, beneficia y enriquece los conocimientos para el desarrollo profesional, así también, contribuye a mejorar los procesos y satisfacer la necesidad del cliente.

Tisur adquirió nuevo equipamiento en base a una ingeniería desarrollado por el fabricante de su torre de absorción de granos con la finalidad de optimizar el proceso, reducir las altas corrientes de arranque y mejorar el control de los equipos durante su operación, sin embargo, no cuentan con el soporte especializado para el desmontaje de los equipos actuales y la nueva instalación de los equipos adquiridos. Por ello, en el presente trabajo se reflejan actividades como la verificación de recursos y levantamiento de información técnica previa en cuanto al sistema de control de las turbinas de absorción, estimación de tiempos de trabajos y planificación de actividades, desarrollo de ingeniería en el diseño de diagramas de eléctricos de fuerza y control, montaje e instalación de motores y variadores de frecuencia, conexión e integración de señales de control de los variadores de frecuencia, PLC S7-300 y una pantalla HMI, modificación y mejoras de la lógica de control en software TIAPORTAL,

comisionamiento, configuración y puesta en marcha de los variadores de frecuencia, comisionamiento general de todos los equipos instalados y cambios realizados, finalmente las pruebas de funcionamiento sin carga y con carga durante un embarque.

Todas las actividades se realizaron con la finalidad de mejorar el funcionamiento de las turbinas, logrando reducir las altas y prolongadas corrientes de arranque utilizando variadores de frecuencia, mejorando así el proceso de inicio de la operación y control para la absorción de granos durante los embarques. Concluyendo que es fundamental la formación laboral para el bachiller en Ingeniería Eléctrica, ya que las actividades realizadas brindaron experiencia y conocimiento enfocado a lograr cumplir con los objetivos trazados.

Palabras clave: Optimización de control, variadores de frecuencia, diagramas eléctricos, motores eléctricos, automatización industrial, comisionamiento, reducción de corrientes de arranque.