



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

“DESARROLLO DE UN MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA, MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA Y VISUALIZACIÓN EN HMI, PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE

Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electromecánica

Autor:

Araque Sigcha Jorge Fabián

Tutores:

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas M.Sc.

Ing. Luigi Rolando Freire Martínez M.Sc.

Latacunga – Ecuador

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Jorge Fabián Araque Sigcha, declaro ser autor de la presente Propuesta Tecnológica: **“DESARROLLO DE UN MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA, MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA Y VISUALIZACIÓN EN HMI, PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo el Ing. Mgs. Byron Paúl Corrales Bastidas tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados obtenidos en la presente propuesta tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, septiembre 2020



Jorge Fabián Araque Sigcha

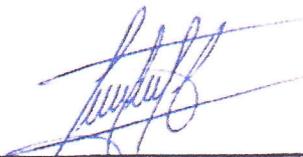
C.C. 050359388-1

AVAL DE LOS TUTORES DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutores del Trabajo Tecnológico sobre el Título:

DESARROLLO DE UN MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA, MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA Y VISUALIZACIÓN EN HMI, PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI", de Jorge Fabián Araque Sigcha, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, consideramos que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes Científico-Técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, septiembre 2020



Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas M.Sc.
C.C. 050234776-8



Ing. Luigi Orlando Freire Martínez M.Sc.
C.C.050252958-9



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe Tecnológico de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**; por cuanto, el postulante: Jorge Fabián Araque Sigcha, con el Título de Proyecto de Titulación: **DESARROLLO DE UN MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA, MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA Y VISUALIZACIÓN EN HMI, PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, septiembre del 2020

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi M.Sc.
C.C.050259517-6

Lector 2

Ing. Paulina Verónica Freire Andrade M.Sc.
C.C. 050205622-9

Lector 3

PhD. Enrique Torres Tamayo
C.C.1757121940



SOLICITUD DE: ENTREGA DE DONACIÓN

Ing.

Mauro Albarracín

DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

Latacunga. –

Yo **Araque Sigcha Jorge Fabián**, egresado de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica promoción 2020, me dirijo a Ud. con el debido respeto y expongo lo siguiente:

Considerando la importancia de los avances tecnológicos realizados en torno al campo industrial y de producción, dado que en la Facultad dichos temas se abordan, para el Plan de Ingeniería Electromecánica, considero de relevancia que el laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi cuente con un módulo de control de velocidad de motores para el desarrollo de prácticas.

Por tal motivo, realizo la entrega del módulo de control de velocidad de motores de inducción jaula de ardilla.

La presente donación, como se solicitó anteriormente, permitirá al laboratorio de Control Industrial de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Por lo expuesto pido proceder conforme a lo solicitado.

Atentamente;

Jorge Fabián Araque Sigcha

C.C.050359388-1



CARTA DE CONFORMIDAD

Latacunga, septiembre 2020

Con el presente documento, se pone en constancia del estudiante **Araque Sigcha Jorge Fabián**, con cédula de ciudadanía No. **050359388-1**, de la carrera de **Ingeniería en Electromecánica** de la Universidad Técnica de Cotopaxi, ha desarrollado el proyecto **“DESARROLLO DE UN MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA, MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA Y VISUALIZACIÓN EN HMI, PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, y realiza la entrega del módulo para el laboratorio de automatización y control cumpliendo así los objetivos propuestos al inicio del desarrollo del proyecto.

Sin otro particular autorizo para que usen el presente documento para cualquier fin legal pertinente de la Universidad.

Ing. Mauro Darío Albarracín Álvarez

C.C.: 050311373-0

Director de carrera de Ingeniería en Electromecánica

Ing. Jorge Villarroel

C.C.: 050294349-1

Encargado del laboratorio de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme vida y fortaleza para poder llegar a concluir mis metas propuestas.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y Carrera de Ingeniería Electromecánica por brindarme la oportunidad de continuar con la formación académica y profesional.

A los docentes y tutores que me guiaron y apoyaron constantemente para la elaboración y culminación de este proyecto.

Jorge



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DEDICATORIA

A mis Padres por su esfuerzo incondicional y sacrificio durante toda esta etapa de mi vida.

A mi familia, amigos y demás por el apoyo constante, por creer siempre en mí para poder cumplir con este objetivo planificado desde su inicio, por el aliento y ayuda recibida en todos los aspectos.

Jorge

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DE LOS TUTORES DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
SOLICITUD DE: ENTREGA DE DONACIÓN	v
CARTA DE CONFORMIDAD.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
RESUMEN	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xx
1.1 Propuesto por:.....	1
1.2 Tema aprobado:	1
1.3 Carrera:	1
1.4 Directores de la propuesta Tecnológica:	1
1.5 Equipo de trabajo:.....	1
1.6 Lugar de ejecución:	1
1.7 Tiempo de duración de la propuesta:.....	2
1.8 Fecha de entrega:	2
1.9 Línea de investigación:	2
1.10 Sub líneas de investigación:	2
1.11 Tipo de propuesta tecnológica:.....	2
1. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	3
2.1 Título de la propuesta tecnológica.....	3
2.2 Tipo de propuesta alcance	3
2.3 Área de conocimientos	3
2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica	3
2.5 Objeto de estudio y campo de acción	3
2.5.1 Objeto de estudio	3
2.5.2 Campo de acción	4
2.6 Situación problemática y problema	4
2.6.1. Situación problemática	4
2.6.2 Planteamiento del Problema	4
2.7 Hipótesis o formulación de preguntas científicas.....	4

2.8	Objetivos.....	4
2.8.1.	Objetivo general	4
2.8.2.	Objetivos específicos.....	4
3.	MARCO TEÓRICO	7
3.1	Antecedentes.....	7
3.2.	Sistemas de Control.....	8
3.2.1.	Sistema de control de lazo abierto.....	8
3.2.2.	Sistema de control de lazo cerrado	8
3.3.	Técnicas de Control	9
3.3.1.	Control Proporcional (P)	9
3.3.2.	Control Proporcional - Integral (PI)	10
3.3.3.	Control Proporcional - Derivativo (PD)	10
3.3.4.	Control Proporcional -Integral - Derivativo (PID)	11
3.4.	Métodos de sintonización	12
3.4.1.	Método Ziegler-Nichols (lazo abierto).....	12
3.4.2.	Método Ziegler-Nichols (lazo cerrado).....	13
3.4.3.	Método Lambda.....	14
3.4.4.	Método López, Miller, Smith y Murril (IAE)	14
3.4.5.	Método Rovira.....	15
3.5.	Motores AC de Inducción.....	15
3.5.1.	Esquema del motor 1LA7 070-4YA60 SIEMENS.....	16
3.6.	Clasificación de motores AC. De inducción	16
3.6.1.	Por el número de fases se clasifican en:	16
3.6.2.	Por el tipo de rotor se clasifican en:	17
3.7.	Control de motores de inducción jaula de ardilla	18
3.8.	Métodos de regulación de la velocidad de motores de inducción	18
3.8.1.	Formas Comunes de Control	19
3.9.	Formas de Acoplamiento a Cargas Mecánicas.....	19
3.10.	Controlador lógico programable (PLC)	20
3.10.1.	Esquema del PLC S7 - 1200 AC/DC RELAY.....	20
3.10.2.	Características del PLC S7 - 1200 AC/DC RELAY	21
3.11.	Pantalla HMI KTP 400 Basic	21
3.11.1.	Esquema del Touch (HMI) KTP 400 BASIC	21
3.11.2.	Características del Touch (HMI) KTP 400 BASIC	22
3.11.3.	Comunicación Ethernet KTP 400 –PLC S7-1200 AC/DC RELAY	22
3.12.	Protocolo de Comunicación USS.....	23

3.12.1.	Comunicación PLC variador.....	23
3.12.2.	Módulo de comunicación RS 485.....	24
3.12.3.	Conector PROFIBUS FC RS 485 SIEMENS.....	25
3.12.4.	Cable de comunicación.....	25
3.13.	Variador de Frecuencia.....	26
3.13.1.	Tipos de variadores de frecuencia:.....	26
3.13.2.	MICROMASTER MM 440.....	27
3.13.3.	Esquema del MICROMASTER MM 440.....	27
3.14.	Encoder.....	28
3.14.1.	Encoder óptico.....	28
3.14.2.	Encoder absoluto.....	28
3.14.3.	Encoder incremental.....	29
3.14.4.	Esquema del encoder.....	29
4.	METODOLOGÍA.....	30
4.1.	Declaración de variables.....	30
4.1.1.	Variable independiente.....	30
4.1.2.	Variable dependiente.....	30
4.2.	Operacionalización de las variables.....	30
4.3.	Diseño del módulo de control de velocidad.....	30
4.3.1.	Diseño del sistema de carga.....	31
4.3.2.	Estudio mecánico estructural.....	31
4.3.3.	Dimensionamiento de las poleas.....	32
4.3.4.	Relación torque carga.....	32
4.3.5.	Selección de correa de transmisión.....	33
4.3.6.	Determinación de tipo de transmisión del sistema de poleas.....	33
4.3.7.	Perturbación del sistema.....	33
4.4.	Cálculo de equipos de control.....	33
4.4.1.	Dimensionamiento del PLC.....	34
4.4.2.	Control de velocidad a través del variador de frecuencia.....	34
4.5.	Selección del encoder.....	35
4.6.	Conversión de pulsos.....	36
4.7.	Selección del HMI.....	37
4.8.	Diseño del sistema de control.....	37
4.8.1.	Determinación de un sistema y especificaciones a partir de requerimientos.	37
4.8.2.	Trazo de un diagrama de bloques funcional.....	38
4.9.	Configuración comunicación Modbus PLC y Variador MM 440.....	39

4.9.2.	Comunicación del Variador de frecuencia Micromaster MM440:.....	39
4.10.	Sintonización Tuning.....	40
4.10.1.	Función de transferencia.....	41
4.10.2.	Sintonización mediante OPS.....	45
4.10.3.	Selección del método de sintonización.....	46
4.10.4.	Ajuste de parámetro PID.....	47
4.10.5.	Algoritmo de control PID para el controlador:.....	47
5.10.6.	Dinámica del motor con perturbación:.....	48
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
5.1.	Descripción del Equipo.....	50
5.2.	Configuración del Controlador PLC.....	50
5.3.	Comunicación.....	50
5.3.1.	Configuración del HMI.....	51
5.3.2.	Flujo del HMI.....	51
5.4.	Diseño de lógica de operación.....	51
5.5.	Diseño de lógica de programación.....	51
5.6.	Funcionamiento del control.....	52
5.6.1.	Control de lazo abierto:.....	52
5.6.2.	Secuencia de funcionamiento en lazo abierto.....	52
5.6.3.	Control de lazo cerrado:.....	53
5.6.4.	Secuencia de funcionamiento en lazo cerrado.....	53
5.7.	Visualización de resultados.....	54
5.7.1.	Descripción de las curvas.....	54
6.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	63
6.1.	Análisis Financiero.....	63
6.1.1.	Costos Directos.....	63
6.1.2.	Costos de materiales.....	63
6.1.3.	Costos por mano de obra.....	65
6.1.4.	Costos indirectos.....	65
6.1.5.	Inversión Total.....	65
6.2.	Análisis de impactos.....	66
6.2.1.	Impacto práctico.....	66
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	68
	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura: 3. 1. Diagrama de bloques del sistema tipo lazo abierto.....	8
Figura 3.2. Diagrama de bloques del sistema de control tipo lazo cerrado.....	9
Figura 3.3. Curva proporcional (P).....	9
Figura 3.4. Curva proporcional integral (PI).	10
Figura 3.5. Curva proporcional derivativa (PD).....	11
Figura 3.6. Curva proporcional integral derivativa (PID).	12
Figura 3.7. Método Ziegler-Nichols.....	13
Figura 3. 8. Método Ziegler-Nichols.....	14
Figura 3.9. Partes del motor 1LA7 070-4YA60 de inducción jaula de ardilla.....	16
Figura 3.10. Motor AC de inducción monofásico.....	17
Figura 3. 11. Motor AC de inducción bifásico.....	17
Figura 3.12. Motor AC de inducción trifásico.....	17
Figura 3.13. Motor AC de inducción rotor devanado.....	18
Figura 3.14. Motor AC de inducción jaula de ardilla asincrónico trifásico.	18
Figura 3.15. Control automático de velocidad.	19
Figura 3.16. Acoplamiento mediante poleas y correas trapeciales en “V”.	20
Figura 3.17. Partes generales del PLC S7-1200 AC/DC RELAY.....	20
Figura 3.18. Partes generales de la pantalla HMI KTP 400.	21
Figura 3.19. Red PROFINET – Ethernet Tcp/ Ip.	22
Figura 3.20. Esquema maestro-esclavo.....	23
Figura 3.21. La estructura de los datos del protocolo USS.....	24
Figura 3.22. Módulo de expansión CM1241 RS422/485.....	24
Figura 3. 23. Conector de bus PROFIBUS.....	25
Figura 3.24. Cable para conexión en la comunicación USS.	26
Figura 3.25. Variador SINAMICS G110.....	26
Figura 3.26. Variador SINAMICS G120.....	27
Figura 3.27. Micromaster 420.	27
Figura 3.28. Partes del variador de frecuencia Micromaster MM 440.....	27
Figura 3.29. Encoder óptico.....	28
Figura 3.30. Encoder absoluto.....	28
Figura 3.31. Encoder incremental.....	29
Figura 3.32. Partes fundamentales de encoder incremental.	29

Figura 4.1. Sistema de poleas para perturbación.	31
Figura 4.2 . Estudio mecánico estructural.	32
Figura 4.3. Encoder E50S8-1024-3-T-24.	36
Figura 4.4. Diagrama de bloques funcional.	38
Figura 4.5. Herramienta trace para determinar las variables de salida.	40
Figura 4.6 . Variable de entrada escalón.	41
Figura 4.7 . Ingreso de vectores.	42
Figura 4.8 . Variable de entrada escalón.	42
Figura 4.9. Diseño del diagrama de bloques en lazo abierto.	43
Figura 4.10 . Estimación de resultado en lazo abierto.	43
Figura 4.11. Diseño del diagrama de bloques en lazo cerrado.	44
Figura 4.12. Estimación de resultado en lazo cerrado.	44
Figura 4.13. Determinación de la relación de variables entrada y salida.	45
Figura 4.14. Estimación de curvas.	45
Figura 4. 16. Gráfica método de sintonización Lambda.	46
Figura 4. 17. Gráfica método de sintonización de López.	46
Figura 4. 18. Gráfica método de sintonización Rovira.	47
Figura 4.19 . Diagrama de bloques en lazo cerrado.	48
Figura 20. Dinámica de las variables.	49
Figura 5.1. Módulo de control de motores de inducción jaula de ardilla.	50
Figura 5.2. Flujograma de pantallas.	51
Figura 5.3. Interfaz lazo abierto.	52
Figura 5.4. Flujograma de control lazo abierto.	52
Figura 5.5. Interfaz lazo cerrado.	53
Figura 5.6. Flujograma de control lazo cerrado.	53
Figura 5.7. Gráfica función escalón en lazo abierto.	54
Figura 5.8. Gráfica lazo abierto 100 rpm con carga.	55
Figura 5.9. Gráfica lazo abierto 500 rpm con carga.	56
Figura 5.10. Gráfica lazo abierto 800 rpm con carga.	56
Figura 5.11. Gráfica lazo abierto 1200 rpm con carga.	57
Figura 5.12. Gráfica lazo abierto 1500 rpm con carga.	58
Figura 5.13. Gráfica lazo cerrado 300 rpm con carga.	59
Figura 5.14. Gráfica lazo cerrado 700 rpm con carga.	59

Figura 5.15. Gráfica lazo cerrado 900 rpm con carga.	60
Figura 5.16. Gráfica lazo cerrado 1300 rpm con carga.	61
Figura 5.17. Gráfica lazo cerrado 1700 rpm con carga.	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tabla del conocimiento del proyecto.	3
Tabla 2.2. Descripción de actividades de tareas propuestas con los objetivos establecidos.	5
Tabla 3.1. Característica de protocolo del módulo de comunicación RS-485	24
Tabla 4.1. Muestra de variable independiente.	30
Tabla 4.2. Muestra de variable dependiente.	30
Tabla 4.3. Dimensiones de la estructura de perturbación.....	31
Tabla 4.4. Selección de la banda de transmisión.	33
Tabla 4.5. Selección de la banda de transmisión.	34
Tabla 4.6. Características del variador de frecuencia.....	34
Tabla 4.7. Parametrización de variador de frecuencia.....	35
Tabla 4.8. Características del encoder E50S8-1024-3-T-24.....	36
Tabla 4.9. Características HMI.....	37
Tabla 4.10. Requerimientos para el controlador.....	37
Tabla 4.11. Requerimientos para el controlador.....	39
Tabla 4.12. Requerimientos para el controlador.....	39
Tabla 4.13. Requerimientos para el controlador.....	39
Tabla 4.14. Creación de 2 variables de entrada y salida.....	40
Tabla 4.15. Tabla de constante X (ms).	41
Tabla 4.16. Estabilización de la curva	42
Tabla 4.17. Configuración de bloques de transferencia	43
Tabla 4.18. Constantes del controlador mediante sintonización Tuning.....	44
Tabla 4.19. Constantes del controlador mediante sintonización OPS	46
Tabla 4.20. Comparación de método de sintonización.....	47
Tabla 4. 21. Tabla de constantes ajustados para el PID.	47
Tabla 4.22. Variables de la dinámica de la velocidad	48
Tabla 5.1. Resultados del control de lazo abierto (función escalón).....	54
Tabla 5.2. Resultado de control de lazo abierto con carga a 100 rpm.	55
Tabla 5.3. Resultado de control de lazo abierto con carga a 500 rpm.	55
Tabla 5.4. Resultado de control de lazo abierto con carga a 800 rpm.	56
Tabla 5.5. Resultado de control de lazo abierto con carga a 1200 rpm.	57
Tabla 5. 6. Resultado de control de lazo abierto con carga a 1500 rpm.	58
Tabla 5.7. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 300 rpm.	58

Tabla 5.8. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 700 rpm.....	59
Tabla 5.9. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 900 rpm.....	60
Tabla 5.10. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 1300 rpm.....	61
Tabla 5.11. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 1700 rpm.....	62
Tabla 6.1. Costo de materiales utilizados en el diseño del controlador.....	63
Tabla 6.12. Costos por mano de obra.....	65
Tabla 6.13. Costos indirectos.....	65
Tabla 6.14. Inversión total.....	66

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DESARROLLO DE UN MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA, MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA Y VISUALIZACIÓN EN HMI, PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

Autor: Jorge Fabián Araque Sigcha

RESUMEN

El análisis de los sistemas de control de procesos hoy en día tiene gran interés debido a su criticidad y amplio uso en el ámbito laboral, de ello quizás la sintonización es el proceso que demanda mayor esfuerzo debido a lo complejo que resulta a fin de obtener la estabilización adecuada de los sistemas.

Es por ello que el propósito del presente proyecto es el desarrollo de un módulo de control de velocidad de motores de inducción jaula de ardilla para el Laboratorio de Control Industrial de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, el mismo que brinda la facilidad a los estudiantes de determinar técnicas de control y automatización para estabilizar la velocidad del motor sometido a diferentes cargas. El módulo consta de un PLC Siemens S7-1200 como elemento central, el mismo que mediante comunicación RS-485 interactúa con un Variador de Frecuencia Micromaster MM440 a fin de comandar el motor de acuerdo a los requerimientos de velocidad. Se han desarrollado varios controles a fin de experimentar su funcionamiento y además se aplican algunos métodos de sintonización para observar su funcionamiento y aplicabilidad. Es importante señalar que se ha obtenido el modelo matemático del sistema con lo cual a futuro se podrá realizar el análisis respectivo empleando softwares de simulación. Mediante una pantalla HMI KTP400 se puede comandar adecuadamente el proceso disponiendo opciones de visualización de curvas de comportamiento tanto en lazo abierto como en lazo cerrado. De las pruebas realizadas se determina los parámetros adecuados para estabilizar el proceso adecuadamente.

Palabras claves: PID, Control de velocidad, PLC, SCADA.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: "Development of a Speed Control Module for Squirrel Cage Induction Motors, Using Frequency Converter and HMI Display for the Industrial Control Laboratory of the Technical University of Cotopaxi."

AUTHOR: Jorge Fabián Araque Sigcha

ABSTRACT

The analysis of process control systems today is of great interest due to its criticality and wide use in the work environment, of which perhaps the tuning is the process that demands more effort due to the complexity that results in order to obtain the adequate stabilization of the systems. That is why the purpose of this project is the development of a speed control module for squirrel cage induction motors for the Industrial Control Laboratory of the Electromechanical Engineering Career, which provides students with the ability to determine control and automation techniques to stabilize the speed of the motor under different loads. The module consists of a Siemens PLC S7-1200 as a central element, which through RS-485 communication, interacts with a Micro-master MM440 frequency converter to control the motor according to the speed requirements. Several controls have been developed to test its operation, and some tuning methods are applied to observe its operation and applicability. It is essential to point out that the system's mathematical model has been obtained so that the respective analysis can be carried out using simulation software in the future like the KTP400 HMI screen; the process can be adequately controlled, with options for displaying behavior curves in both open and closed loops. From the tests carried out, the appropriate parameters are determined to stabilize the process adequately.

KEYWORDS: PID, Speed Control, PLC, SCADA.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **JORGE FABIÁN ARAQUE SIGCHA**, cuyo título versa "**DESARROLLO DE UN MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA, MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA Y VISUALIZACIÓN EN HMI, PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**", lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, septiembre del 2020

Atentamente,

Mg. BOLÍVAR MAXIMILIANO CEVALLOS GALARZA
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0910821669



CENTRO
DE IDIOMAS

INFORMACIÓN BÁSICA

1.1 Propuesto por:

Jorge Fabián Araque Sigcha

1.2 Tema aprobado:

“Desarrollo de un Módulo de Control de Velocidad de Motores de Inducción Jaula de Ardilla, mediante Variador de Frecuencia y Visualización en HMI, para el Laboratorio de Control Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi”.

1.3 Carrera:

Ingeniería Electromecánica

1.4 Directores de la propuesta Tecnológica:

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas M.Sc.

Ing. Luigi Rolando Freire Martínez M.Sc.

1.5 Equipo de trabajo:

Tutor 1

Nombres: Byron Paúl

Apellidos: Corrales Bastidas

Cédula de Identidad: 050234776-8

Email: byron.corrales@utc.edu.ec

Tutor 2

Nombres: Luigi Rolando

Apellidos: Freire Martínez

Cédula de Identidad: 050252958-9

Email: luigi.freire@utc.edu.ec

Ponente

Nombres: Jorge Fabián

Apellidos: Araque Sigcha

Cédula de Identidad: 050359388-1

Email: jorge.araque1@utc.edu.ec

1.6 Lugar de ejecución:

El proyecto se desarrolla en el Laboratorio de Control Industrial de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, campus la Matriz en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia San Felipe.

1.7 Tiempo de duración de la propuesta:

6 meses

1.8 Fecha de entrega:

Septiembre del 2020

1.9 Línea de investigación:

Procesos industriales

1.10 Sub líneas de investigación:

Automatización, control y protección de sistemas electromecánicos.

1.11 Tipo de propuesta tecnológica:

La presente propuesta tecnológica tiene la finalidad construir un módulo para el control de velocidad de motores de inducción jaula de ardilla asincrónico trifásico; permite estabilizar la velocidad del motor sujeto a la práctica mediante el sistema PID, utilizando un (PLC” S7-1200), variador de frecuencia Micromaster (MM 440) y un encoder incremental. Este módulo será instalado en el Laboratorio de Control Industrial de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

1. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 Título de la propuesta tecnológica

Desarrollo de un Módulo de Control de Velocidad de Motores de Inducción Jaula de Ardilla, mediante Variador de Frecuencia y Visualización en HMI, para el Laboratorio de Control Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.2 Tipo de propuesta alcance

Esta propuesta tecnológica se considera multipropósito ya que se pretende diseñar, integrar e implementar un módulo didáctico de control de velocidad un motor de inducción: jaula de ardilla asincrónica trifásica, con la finalidad de establecer conocimientos prácticos de los sistemas de control incorporados en los laboratorios de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.3 Área de conocimientos

En la tabla 2.1. Se muestran las áreas del conocimiento, de acuerdo a los campos de educación y capacitación de la UNESCO.

Tabla 2.1. Tabla del conocimiento del proyecto.

Campo amplio	Campo específico	Campo detallado
07 Ingeniería industria y construcción	071 Ingeniería y profesiones a fines	0714 Electrónica y automatización

Fuente: [1].

2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica

La presente propuesta tecnológica se desarrolla en el laboratorio de Ingeniería Electromecánica a través de un módulo de control de velocidad para motores de inducción asincrónico jaula de ardilla. El desarrollo de controles en lazo abierto y cerrado establece el valor que se desea obtener o set point, de igual manera la lectura de la velocidad lo proporciona el encoder situado en el eje del motor, mediante la configuración de comunicación de los equipos PLC, Micromaster y una pantalla HMI se obtienen los parámetros en una interfaz interactiva. Los beneficiarios directos de la propuesta tecnológica son los estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

2.5 Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1 Objeto de estudio

Módulo de Control de Velocidad de Motores de Inducción Jaula de Ardilla

2.5.2 Campo de acción

3306.03 Motores Eléctricos, 3311.02 Ingeniería de control, 3311.05 Equipos Eléctricos de Control.

2.6 Situación problemática y problema

2.6.1. Situación problemática

Los equipos y elementos electromecánicos como es el caso de un motor de corriente alterna con características asíncronas y jaula de ardilla convierte energía eléctrica en energía mecánica mediante el movimiento rotatorio de una velocidad constante, dado este principio de funcionamiento se requiere un sistema de control el cual permita regular los parámetros de fábrica de acuerdo a lo que se requiere para su aplicación.

En la actualidad el Laboratorio de Ingeniería Electromecánica requiere un módulo didáctico para realizar prácticas del laboratorio referentes a la estabilización de parámetros de velocidad de motores de inducción jaula de ardilla, además que tenga la posibilidad de ser empleado en el análisis del control y automatización empleando distintos tipos de controladores que pueden ir desde el uso de microcontroladores hasta PLCs de diferentes marcas y modelos de acuerdo al avance de la tecnología.

2.6.2 Planteamiento del Problema

En los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se requiere disponer de un módulo didáctico para realizar prácticas referentes al control de velocidad de motores de inducción asíncronos jaula de ardilla, así como también para efectuar un análisis de la estabilización.

2.7 Hipótesis o formulación de preguntas científicas

El desarrollo de un módulo de control de velocidad permitirá analizar el empleo de controladores y métodos de sintonización en motores de inducción jaula de ardilla.

2.8 Objetivos

2.8.1. Objetivo general

Desarrollar un módulo de control de velocidad de motores de inducción jaula de ardilla, mediante un variador de frecuencia y visualización en (HMI) para el Laboratorio de Control Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.8.2. Objetivos específicos

- Recopilar información técnica sobre el control de motores AC de inducción, asíncrono, jaula de ardilla sus principios y funcionamiento.
- Diseño de un módulo didáctico de control de motores de inducción jaula de ardilla.

- Implementar el control y sintonización adecuada para estabilizar velocidad del motor de inducción jaula de ardilla.
- Verificar el correcto funcionamiento mediante pruebas experimentales en lazo abierto y lazo cerrado del sistema.

Tabla 2.2. Descripción de actividades de tareas propuestas con los objetivos establecidos.

OBJETIVO ESPECÍFICOS	ACTIVIDAD	RESULTADOS	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Recopilar información técnica sobre el control de motores de inducción, asincrónico, jaula de ardilla y funcionamiento.	1. Investigación bibliográfica sobre motores de inducción	Teoría de motores de inducción	Tesis y revistas científicas de sistemas de control.
	2. Análisis de controladores, comunicaciones industriales y métodos de sintonización.	Teoría de sistemas de control	Tesis y revistas científicas de sistemas de control.
Diseño de un módulo didáctico de control de motores de inducción jaula de ardilla.	1. Dimensionamiento de equipos.	Comunicación de Equipos.	Manuales electrónicos
	2. Diseño del sistema de perturbación con acople de encoder.	Transmisión para producir carga al motor.	Construcción de sistema de perturbación mediante poleas
Implementar el control y sintonización adecuada para estabilizar velocidad del motor de inducción jaula de ardilla.	1. Sintonización de controlador PID	Parámetros K_p , T_i , T_d .	Función de Transferencia
	2. Configuración del equipo controlador.	Estabilidad de la velocidad del motor	Algoritmo PID
Verificar el correcto funcionamiento mediante pruebas experimentales en lazo	1. Realizar las pruebas en lazo abierto y cerrado para determinar resultado y funcionamiento.	Relación del Set point y lectura encoder lazo abierto y cerrado.	Lecturas del encoder y proyección de curvas en el HMI.

abierto y lazo cerrado del sistema.	2. Elaborar hojas guías para el estudiante y manual de usuario para su conexión.	Hojas guías para su aplicación	Formato para guía de Laboratorio de Electromecánica.
-------------------------------------	--	--------------------------------	--

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

Diversos trabajos investigativos se han desarrollado acerca del control de motores de corriente alterna utilizados para varias aplicaciones de uso industrial, así como también varios sistemas de control y comunicación para la interfaz de los equipos utilizando variadores de frecuencia, controladores lógicos programables (PLC) y protocolos de comunicación.

Ángel Carate Gutiérrez y Ángel Villacís Salazar realizan un proyecto relacionado con el tema, “Diseño y construcción de un módulo con variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla trifásico para el laboratorio de control industrial” su trabajo hace énfasis en la utilización de variador SINAMIC G110 permitiendo el control de la velocidad y voltaje de un motor eléctrico asincrónico trifásico, por medio de la regulación de la frecuencia de alimentación suministrada al motor, concluye que el variador utilizado proporciona distintas formas de poner en marcha mediante el conocimiento de cada uno de sus parámetros que existen en su programación, además mediante el variador se permite entender su composición, estructura y funcionamiento en sus diferentes etapas para llevar a cabo la variación de la frecuencia y su velocidad entre otras [2].

Wilson Zumba expone su trabajo referente a “Diseño e implementación de un módulo para el control de velocidad de un motor trifásico” muestra que mediante la aplicación del control proporcional integral y derivativo (PID), se determina que el (PID) elimina el error residual comprobando la señal sintonizada en tiempo real, además que mediante el variador permite disminuir el consumo de energía suministrado por la red para la inducción del motor, de esta manera establece entre sus conclusiones más principales [3].

Víctor Arellano Naranjo y Raúl Enrique Pruna mediante un trabajo referente al tema realizado en la ciudad de Latacunga que refiere a protocolos de comunicación para monitorear y controlar motores asincrónicos realizado por, “Diseño e implementación de una red industrial utilizando el protocolo USS para el monitoreo y control de velocidad de motores para el laboratorio de redes industriales y control de procesos de la ESPE extensión Latacunga”, detalla la interfaz de los variadores de frecuencia y protocolos de comunicación para controlar la velocidad en los motores, determinan como conclusiones más interesantes en el cual el método muy eficaz para desarrolla un control en la velocidad de un motor de inducción se utiliza un variador electrónico de frecuencia, de la misma manera la utilización específica de variadores Micromaster MM 440 permiten variar la velocidad del motor [4].

Existe una variedad de controladores y variadores de frecuencia que se pueden aplicar de diferentes formas para llegar a controlar un motor de corriente alterna, así como también en las instituciones de educación superior que poseen carreras técnicas como electrónica y electromecánica se fomentan la necesidad de automatizar los equipos técnicos de gran uso industrial como el caso de los motores eléctricos.

3.2. Sistemas de Control

Se denomina como conjunto de ciertos elementos que se relacionan, para producir señales de salida mediante una función de señal de entrada en base datos ingresados, de esta manera se genera una relación de entrada y salida en dicho proceso, se puede describir a continuación los tipos de sistemas dinámicos [5].

3.2.1. Sistema de control de lazo abierto

Según [5], este tipo de sistema se caracteriza mediante el efecto sobre la acción de control, la salida no es igual a la entrada de referencia y cada entrada corresponde a una operación prefija sobre la señal de salida, de esta manera la exactitud del sistema corresponderá a su calibración, las perturbaciones producen señales indeseadas que afectan la función asignada.

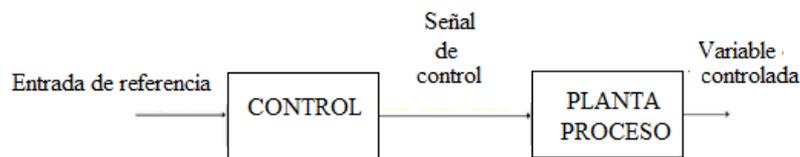


Figura. 3.1. Diagrama de bloques del sistema tipo lazo abierto.

Fuente: [5].

3.2.2. Sistema de control de lazo cerrado

Los sistemas de control de lazo cerrado según [5], la señal de salida obtiene efecto sobre la acción de control llamado así realimentación, mediante la señal controlada se realimenta y compara en la entrada de referencia, enviada a través del sistema la señal de control, esta señal es proporcional a la diferencia encontrada entre la señal de entrada y la señal de medida a la salida, de esta manera corrige el error o desviación en el caso que exista, la realimentación facilita al conjunto la sensibilidad a las perturbaciones.

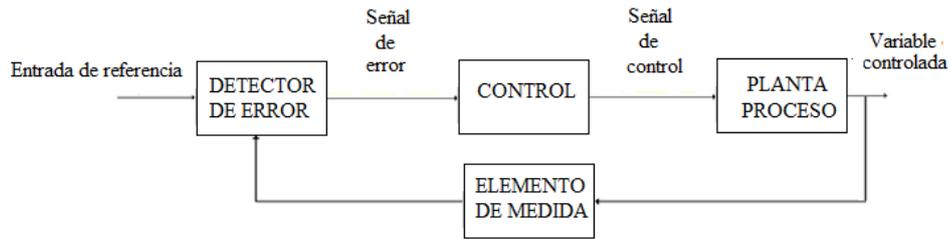


Figura.3.2. Diagrama de bloques del sistema de control tipo lazo cerrado
Fuente: [5]

3.3. Técnicas de Control

Según [6], las técnicas del control pueden establecerse de la siguiente manera para efectuar un control y alcanzar prestaciones deseadas:

3.3.1. Control Proporcional (P)

Produce la señal de control proporcional a la señal de error y su ecuación es.

$$Cp(s) = K_p \quad (3.1)$$

Donde:

C_p : Función de transferencia

s: Operador la place

K_p : Ganancia proporcional ajustable

- **Características:** Un solo valor ganancia proporcional K_p
- **Ventajas:** Simple, se utiliza únicamente el parámetro (K_p) ganancia proporcional.
- **Desventajas:** Puede reducir, pero no eliminar el error en estado estacionario.

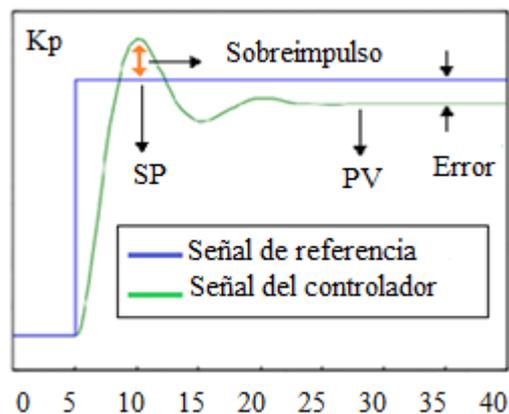


Figura.3.3. Curva proporcional (P).
Fuente: [7].

3.3.2. Control Proporcional - Integral (PI)

Según [7], el control proporcional realiza la corrección producida por la perturbación del motor para de esta manera mantener el control de la variable en el punto de consigna, su ecuación es:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_n^t e(\tau) d\tau \quad (3.2)$$

Donde:

$u(t)$: Señal de salida

e : Error de velocidad estacionario

K_p : Ganancia proporcional

T_i : Tiempo integral

τ : Constante de tiempo

- **Características:** Valores de Ganancia proporcional K_p y tiempo integral T_i
- **Ventajas:** Elimina errores estacionarios, el error en régimen se elimina.
- **Desventajas:** Existe inestabilidad al sistema si T_i disminuye mucho, el sobre impulso aumenta.

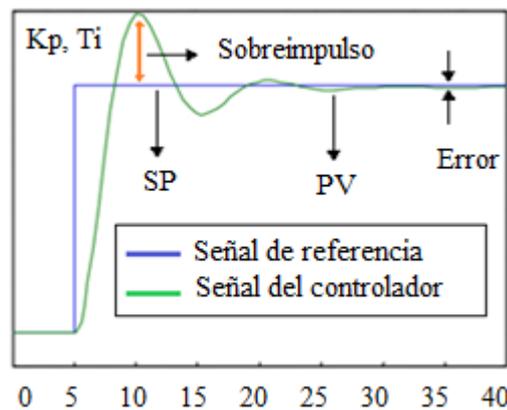


Figura. 3.4. Curva proporcional integral (PI).

Fuente: [7].

3.3.3. Control Proporcional - Derivativo (PD)

Establece antes del efecto de la acción proporcional de esta manera logra estabilizar rápidamente la variable controlada después de cierta perturbación su ecuación es la siguiente determinada por [7].

$$C_{PD}(s) = K_p + s K_p * T_d \quad (3.3)$$

Donde:

$C_{PD}(s)$: Función de transferencia

s : Operador la place

K_p : Ganancia proporcional

T_d : Tiempo derivativo

- **Características:** Valores de Ganancia proporcional K_p y tiempo derivativo T_d
- **Ventajas:** La estabilidad mejora, el sobre impulso tiende a disminuir, la velocidad en la respuesta es más rápida.
- **Desventajas:** Los valores de las acciones PD son las mismas, pero es diferente el valor de la derivada del error.

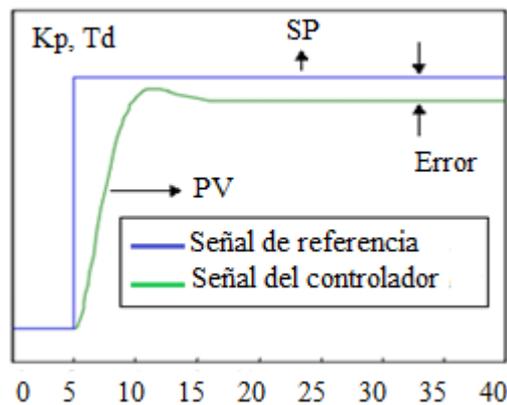


Figura. 3.5. Curva proporcional derivativa (PD)

Fuente: [7].

3.3.4. Control Proporcional -Integral - Derivativo (PID)

Se trata de un controlador simultáneo, la realimentación hace que calcule la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado en este caso un set point [7].

Los controladores PID permiten el control de procesos industriales, tomado en cuenta la dinámica del proceso a desarrollarse tales como en el caso del proceso de un sistema lineal con retardo, cuyo comportamiento responde a una ecuación diferencial de primer orden o a su vez mediante una ecuación diferencial de segundo orden [8].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.4)$$

Donde:

$u(t)$: Señal de salida

$e(t)$: Error estacionario

K_p : Ganancia proporcional

K_i : Ganancia integral

K_d : Ganancia derivativa

- **Características:** Valores de Ganancia proporcional K_p , tiempo integral T_i , tiempo derivativo T_d
- **Ventajas:** Tiene estabilidad, rapidez y precisión de respuesta
- **Desventajas:** En sistemas no lineales es variable, la parte derivativa puede variar cambiando la salida.

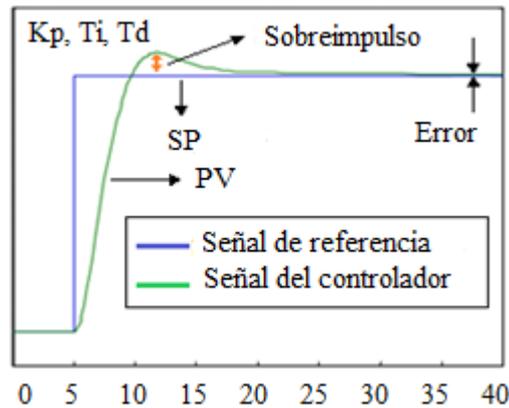


Figura. 3.6. Curva proporcional integral derivativa (PID).
Fuente: [7].

3.4. Métodos de sintonización

Según [9] los métodos para sintonizar los tipos de control en lazo abierto y lazo cerrado se determinan mediante los siguientes:

3.4.1. Método Ziegler-Nichols (lazo abierto).

Este método se realiza mediante la sintonización de lazo abierto mediante modelos de planta adquirida de la curva de reacción de un proceso se calcula mediante la siguiente ecuación [9].

$$K_C = 1.2 \frac{\tau}{K_p t_m} \text{ a } 2.0 \frac{\tau}{K_p t_m}$$

(3.5)

$$T_i = 2t_m \tag{3.6}$$

$$T_d = 0.5t_m \tag{3.7}$$

Donde:

K_C : Ganancia crítica

T_i : Tiempo integral

T_d : Tiempo derivativo

t_m : Periodo

τ : Constante de tiempo

En lazo abierto permite ajustar de forma empírica a través de la planta $G(s)$ a una entrada escalón los valores PID, la sintonización en lazo abierto de Ziegler-Nichols se representa mediante una curva de reacción en forma de S que transita en función del tiempo, una recta pendiente que corta en los puntos de inflexión de dicha curva, mediante el valor final de la amplitud forman las distancias retardo de tiempo (L) y tiempo muerto (τ), los mismos que permiten determinar los valores del controlador PID K_p , T_i , T_d . en sustitución mediante sus respectivas ecuaciones antes mencionadas [10].

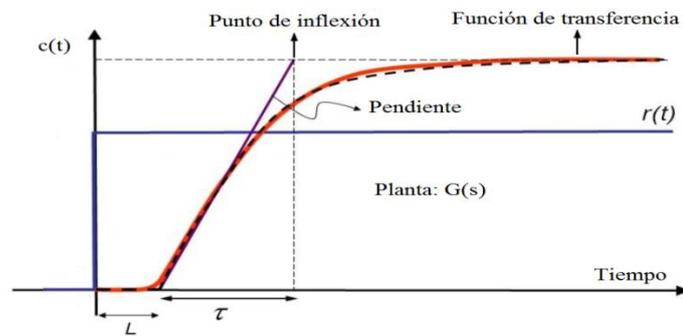


Figura.3.7. Método Ziegler-Nichols
Fuente: [10].

3.4.2. Método Ziegler-Nichols (lazo cerrado).

$$K_C = 0.6 K_{cu} \text{ a } 1,0K_{cu} \quad (3.8)$$

$$T_i = 0.5T_u \quad (3.9)$$

$$T_d = 0.125T_u \quad (3.10)$$

Donde:

K_c : Ganancia crítica

T_i : Tiempo integral

T_d : Tiempo derivativo

K_{cu} : Ganancia ultima

T_u : Retardo

Este método se aplica mediante la eliminación de efectos derivativos e integrales en base a la ganancia (K_p), tenemos un valor como ganancia crítica (K_{cr}) y un período crítico (P_{cr}), estos valores hallan K_p , T_i , T_d para el controlador PID en lazo cerrado de la planta $G(s)$, se establece el valor (SP) set point para obtener la variable medida (PV) y la señal de salida durante el transcurso del tiempo [10].

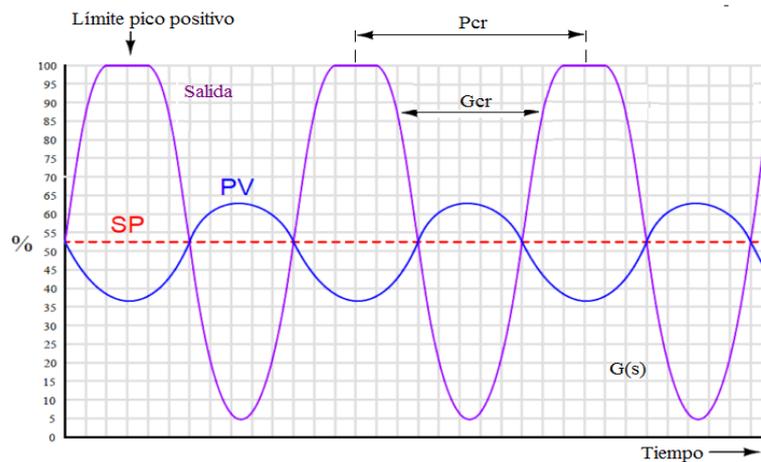


Figura.3.8. Método Ziegler-Nichols
Fuente: [10].

3.4.3. Método Lambda

Simplificación de reglas de sintonización basado en el error máximo (PEM), e integral de error absoluto (IAE), consiste en organizar bucles de la planta para acercarse a los valores de estabilidad, se determina las ecuaciones para las constantes de sintonía de un controlador PID [11].

$$K_p = \left(\frac{1}{K}\right) * \left[\left(\frac{L}{2}\right)\right] \quad (3.11)$$

$$T_i = T + \left(\frac{L}{2}\right) \quad (3.12)$$

$$T_d = (T * L) / (L + 2 * T) \quad (3.13)$$

Donde:

Kp: Constante Proporcional

K: Constante

T: Tiempo

L: Operación Laplace

T'i: Tiempo Integral

T'd: Tiempo Derivativo

3.4.4. Método López, Miller, Smith y Murril (IAE)

Este método de sintonización se establece mediante la reducción de la constante integral determinando así el error absoluto de la relación PV-SP del sistema [11].

$$K^p K^c = a(t.t^m)^b \quad (3.14)$$

$$\frac{T_d}{\tau} = c\left(\frac{t_m}{\tau}\right)^d \quad (3.15)$$

$$\frac{T_d}{\tau} = e\left(\frac{t_m}{\tau}\right)^f \quad (3.16)$$

Donde:

K'c: Ganancia Proporcional

T'i: Tiempo Integral

T'd: Tiempo Derivativo

e: error estacionario

c: Ponderación de la acción D

τ : constante de tiempo

Tm: tiempo de retardo

3.4.5. Método Rovira

Mediante este método se puede efectuar un controlador PI o PID, mediante esta forma se puede minimizar la integral de error y se puede efectuar mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones para el controlador PID [11].

Donde:

K'c: Ganancia Proporcional

Kp: Constante proporcional

T'i: Tiempo Integral

T'd: Tiempo Derivativo

τ : constante de tiempo

$$K_P K = a \left(\frac{d}{\tau} \right)^b \quad (3.17)$$

$$\frac{\tau}{T_i} = a \left(\frac{d}{\tau} \right) + b \quad (3.18)$$

$$\frac{T_d}{\tau} = a \left(\frac{d}{\tau} \right)^b \quad (3.19)$$

3.5. Motores AC de Inducción

El motor AC se basa en el principio fundamental de inducción electromagnética, una característica de este tipo de motores es que no llegan a desarrollar su velocidad síncrona de allí se denominan el término asíncrono [12].

3.5.1. Esquema del motor 1LA7 070-4YA60 SIEMENS

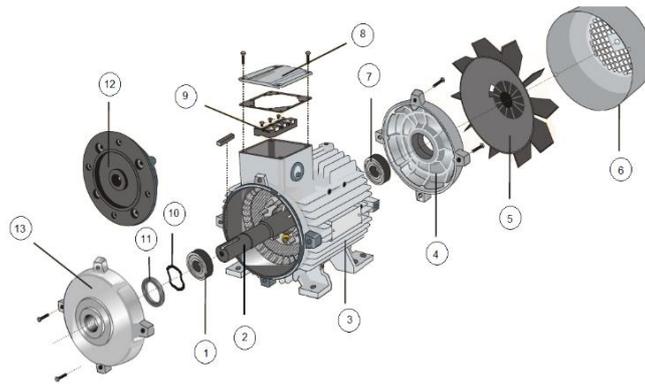


Figura 3.9. Partes del motor 1LA7 070-4YA60 de inducción jaula de ardilla.

Fuente: [13]

1. Rodamiento AS
2. Rotor
3. Carcasa – estator
4. Platillo BS/B3
5. Ventilador
6. Caperuza
7. Rodamiento AS
8. Tapa de la caja de bornes
9. Arandela de presión
10. Retenedor
11. Platillo AS/B5
12. Platillo AS/B3 [13].

3.6. Clasificación de motores AC. De inducción

La clasificación de los motores puede ser por el número de fases o por el tipo de rotor [12].

3.6.1. Por el número de fases se clasifican en:

- **Monofásicos:** El motor monofásico se alimenta de una línea neutro de alimentación a 110 V. De igual manera está formado por bobinados en el estator.

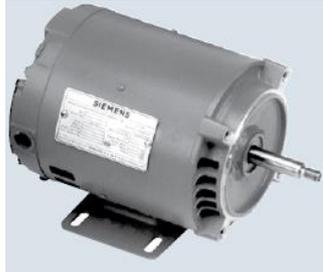


Figura.3.10. Motor AC de inducción monofásico
Fuente: [14].

- **Bifásicos:** Estos motores se alimentan de dos tensiones y un neutro internamente desfasadas.



Figura. 3.11. Motor AC de inducción bifásico.
Fuente: [14].

- **Trifásicos:** Se caracterizan mediante la utilización de tres líneas para alimentarse a 220V y 440 V dependiendo la conexión, de igual manera alcanza mayor velocidad que el monofásico.

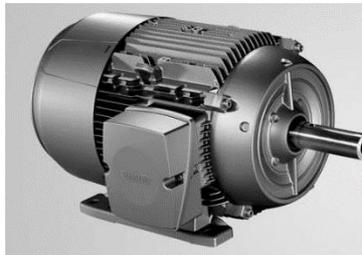


Figura. 3.12. Motor AC de inducción trifásico.
Fuente: [14].

3.6.2. Por el tipo de rotor se clasifican en:

- **De rotor devanado:** Su característica principal bobinas conectadas en los anillos que se deslizan en su eje.



Figura 3.13. Motor AC de inducción rotor devanado.
Fuente: [14].

- **De rotor jaula de ardilla:** El motor AC de inducción asincrónico se origina mediante la formación de conductores de cobre o aluminio estos están dispuestos longitudinalmente, se encuentran en cortocircuitados en los extremos y poseen sendos anillos conductores, de allí se designa el nombre como rotor jaula de ardilla [15].

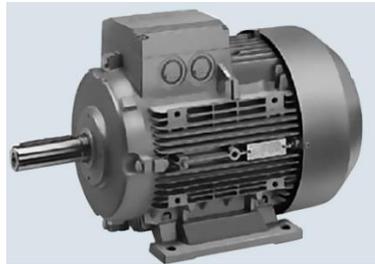


Figura. 3.14. Motor AC de inducción jaula de ardilla asincrónico trifásico.
Fuente: [14].

3.7. Control de motores de inducción jaula de ardilla

Los motores de inducción asincrónicos trifásicos funcionan a velocidad constante a partir de cero hasta alcanzar el desempeño del motor a plena carga, su velocidad depende esencialmente de la frecuencia entre otras, de esta manera se puede efectuar su control. El principio de funcionamiento se genera mediante duración del ciclo a la máxima frecuencia de 60 Hz, es decir 1/60 o 3600 revoluciones cada minuto [16].

3.8. Métodos de regulación de la velocidad de motores de inducción

Según [17], para analizar los métodos de regulación de la velocidad de un motor de inducción hay que tomar en cuenta la velocidad constante, sincronismo, consideración de los pares de polos y la frecuencia de alimentación, de esta manera los métodos pueden ser por:

1. Control de la velocidad por cambio del número de polos
 2. Regulación de la velocidad variando la frecuencia
 3. Regulación de la velocidad actuando sobre el deslizamiento
- Variando la tensión aplicada al estator

- Variando la resistencia del circuito rotórico
- Por inyección de f.e.m. en el rotor.

3.8.1. Formas Comunes de Control

Mediante los parámetros del motor de inducción como es su velocidad de giro, corriente que suministra la red, fuerza para mover la carga, se pueden controlar o a su vez regular según se requiera para ello se fundamenta de diagramas de bloques mediante su funcionalidad [18].

1. Mecanismo de regulación externo
2. Mecanismo de regulación interno
3. Método de realimentación

El método realimentación se determina mediante un control de la acción que se establece mediante la misma cantidad que se requiere controlar, se reinyecta al equipo que efectúa la acción este tipo de sistema es adecuado para el funcionamiento de motores de inducción a velocidad constante.

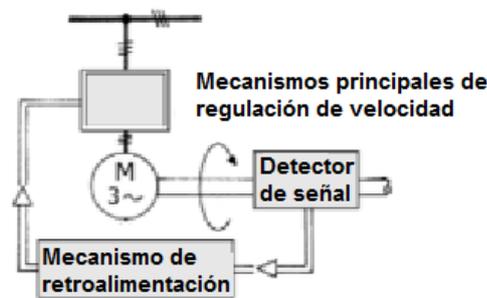


Figura. 3.15. Control automático de velocidad.

Fuente: [18].

3.9. Formas de Acoplamiento a Cargas Mecánicas

Los motores eléctricos se pueden acoplar de una forma mecánica a distintos equipos según sea las necesidades y vinculación al medio del empalme entre el eje del motor y el eje del mecanismo conducido, estos pueden ser de las siguientes formas:

1. Directos
2. Transmisiones
3. Frenos.

Mediante un acoplamiento mecánico por transmisión conformado de poleas y una correa para su transmisión, disminuye la velocidad del motor de inducción, para encajar en la necesidad del mecanismo toma una forma plana o a su vez trapecial, en el caso de correa trapecial el resbalamiento es nulo de igual manera este tipo de sistema es utilizado en ejes tipo horizontal y en espacios adaptables a su instalación [18].

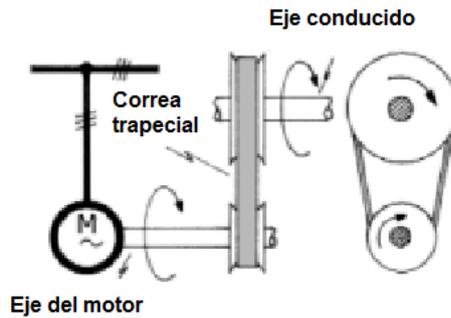


Figura. 3.16. Acoplamiento mediante poleas y correas trapeziales en “V”.
Fuente: [18].

3.10. Controlador lógico programable (PLC)

El controlador lógico programable (PLC) es capaz de realizar el proceso de distintos programas mediante operaciones matemáticas, distintas funcionalidades para controlar y regular procesos industriales, el PLC funciona mediante la reunión de datos, cambia los parámetros de operación de igual manera modificar su programación de esta manera este elemento puede desarrollar su trabajo como controlador. [16]. El S7-1200 AC/ DC RELAY constituye un CPU e incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, también tiene circuitos de entrada y salida PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, estos componentes que se encuentran en el controlador [19].

3.10.1. Esquema del PLC S7 - 1200 AC/DC RELAY

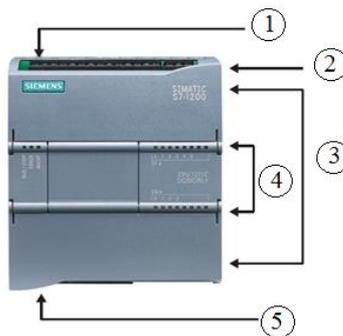


Figura. 3.17. Partes generales del PLC S7-1200 AC/DC RELAY.
Fuente: [19].

1. Conexión de la corriente
2. Ranura para memoria de tarjeta bajo la tapa superior
3. Conexión para extraíbles del cableado de usuario detrás de las tapas
4. Indicadores Leds para estado de Entradas/Salidas integradas
5. Conector PROFINET inferior del CPU [19].

3.10.2. Características del PLC S7 - 1200 AC/DC RELAY

- Voltaje de alimentación 110V.
- Ofrece la flexibilidad para cubrir las necesidades de automatización.
- Los módulos y placas de conexión para ampliar las capacidades de la CPU con E/S adicionales
- Protocolos de comunicación, módulo de señales e interfaces de comunicación al puerto PROFINET mediante adaptador TS.
- Los módulos de señales (SM) agregan funciones a la CPU.
- Los SM se conectan en el lado derecho de la CPU [19].

3.11. Pantalla HMI KTP 400 Basic

Los dispositivos HMI son paneles de visualización que permiten visualizar y monitorear un proceso posee características básicas que se exigen, y con las condiciones económicas adecuadas, relación costo-rendimiento de calidad SIMATIC, independientemente de sus dimensiones de pantalla posee numerosas funciones de software estándar. [20], mediante la selección de variantes se puede llevar la conexión a PROFINET de los paneles básicos poseen un terminal RJ45 para Ethernet industrial y las versiones PROFIBUS con una interfaz RS422 / 485 para 12 Mbits [21].

3.11.1. Esquema del Touch (HMI) KTP 400 BASIC

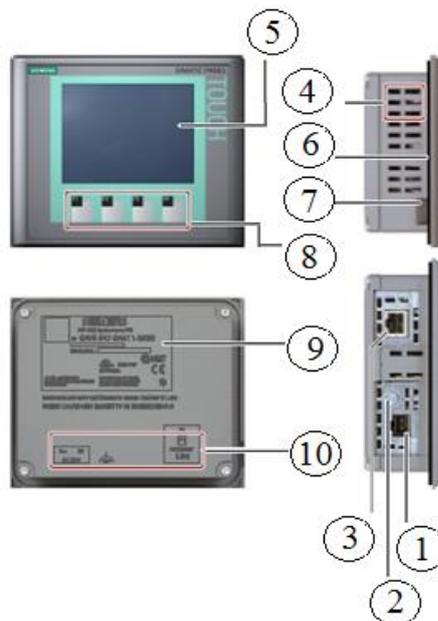


Figura. 3.18. Partes generales de la pantalla HMI KTP 400.
Fuente: [22].

1. Fuente de alimentación
2. Conexión para tierra funcional
3. Conexión de interfaz PROFINET
4. Mordaza de la fijación
5. Pantalla táctil
6. Junta de montaje
7. Guía para tira rotulable
8. Teclas de función
9. Placa de las características
10. Especificación de puerto [22].

3.11.2. Características del Touch (HMI) KTP 400 BASIC

- Interfaces RS 422/RS 485 Ethernet RJ45
- Nombre del equipo SIMATIC HMI
- Tipo de equipo Panel táctil con teclas de función
- Alimentación 24 V
- Tipo de interfaz Basic Panel PN.

3.11.3. Comunicación Ethernet KTP 400 –PLC S7-1200 AC/DC RELAY

El Ethernet brinda la posibilidad de transmitir una comunicación industrial de amplia tecnología a nivel de campo en la industria de procesos mediante el PROFINET de estándar abierto de Ethernet Industrial, la interfaz se puede realizar mediante un SIMATIC S7-1200 AC/DC RELAY. [23] . El switch Ethernet puede realizar una conexión directa entre una pantalla HMI y un PLC cuando se requiere comunicar de dos elementos en adelante para llevar a cabo la interfaz [19].

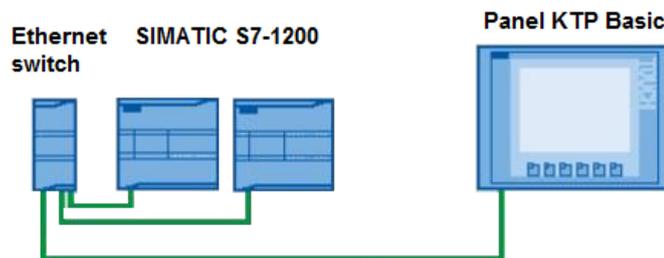


Figura 3.19. Red PROFINET – Ethernet Tcp/ Ip.
Fuente: [23].

3.12. Protocolo de Comunicación USS

El protocolo de comunicación USS es una interfaz de serie universal (USS). Se pueden utilizar para comunicación con una variedad de accionamientos mediante conexiones RS485 además se utiliza módulos para la comunicación CM 1241 RS485 en el CPU S7-1200 [24].

- **Funcionamiento:** El bus de comunicación inicia desde el módulo CM 1241 hacia los terminales P+ y N- de los bornes del variador de frecuencia mediante cable PROFIBUS que sale del módulo RS485 conectado al PLC y se conecta a los terminales 29 y 30 del variador Micromaster 440.
- **Ventajas:** Comanda máximo 31 esclavos, es una red industrial.
- **Desventajas:** Requiere de tarjeta de comunicación CM-1241.
- **Característica de protocolo:** Funciona de forma maestro-esclavo, EL PLC es maestro, esclavo el variador de frecuencia.

3.12.1. Comunicación PLC variador

El protocolo USS trabaja mediante la disposición de maestro y esclavos, cabe mencionar que puede comandar hasta 31 esclavos, por lo cual en este caso el maestro será el PLC siemens S7 1200 AC/DC/RELAY su configuración se realiza mediante los datos detallados en la (tabla 3.1.). El esclavo será el variador Micromaster 440 y su configuración mediante su (parametrización), el sistema como tal es muy aplicativo ya que mediante la red industrial. El protocolo USS es un medio de transmisión en serie sencillo, diseñado para sistemas de accionamientos de máquinas eléctricas. La base física de la interface del protocolo USS es el módulo RS-485.

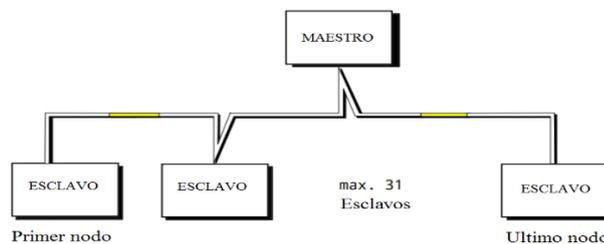


Figura 3.20. Esquema maestro-esclavo

Fuente: [25]

- **Trama de datos:** La trama del protocolo USS se divide en dos partes:
PKW (Parameter-Kennung-Wert) -Parámetro/Indicativo/Valor
PZD (Proze/daten) -datos de proceso.



Figura 3.21. La estructura de los datos del protocolo USS
Fuente: [25]

3.12.2. Módulo de comunicación RS 485

El módulo de comunicación RS-485 se refiere a la técnica de transmisión de datos a una alta velocidad y una tecnología de instalación en este medio de transmisión los equipos se conectan a una estructura de bus en serie [26].



Figura 3.22. Módulo de expansión CM1241 RS422/485.
Fuente: [27].

Funcionamiento: Mediante el puerto del módulo CM1241 RS422/485 conectar el conector PROFIBUS mediante interfaz RS-485 la velocidad de transferencia, longitud de telegrama y protocolo de transmisión USS.

Ventajas: Se adapta a cambios climáticos humedad, temperatura -20°C a 60°C, presión atmosférica 1080 al máximo.

Desventajas: Únicamente para S7-1200 [27].

Característica de protocolo:

Tabla 3.1. Característica de protocolo del módulo de comunicación RS-485

Módulo de comunicación RS-485		Serie: 6ES7 241-1CH32-0XB0
Referencia	Detalle	
Voltaje:	24VDC	
Rango admisible límite inferior:	20.4 VDC	
Rango admisible límite superior:	28.8 VDC	
Cable apantallado		
Longitud:	100 m máx.	
Transmisor y receptor		
Tipo:	Conector hembra sub-D de 9 polos	

Drivers de protocolos integrados	
ASCII:	Si, como función de librería
USS:	Si, como función de librería
Protocolos integrados	
Longitud máxima del telegrama:	1 Kbyte
Bits por carácter:	7,8
Número de bits de parada:	1 Standard, 2
Partido:	Sin estándar de partido incluso marca desigual bit de partido siempre 1.

Fuente: [27].

3.12.3. Conector PROFIBUS FC RS 485 SIEMENS

El conector de bus RS485 para PROFIBUS se conecta en una estación situada de PROFIBUS o elemento de red PROFIBUS y este a su vez al cable de bus para PROFIBUS de la misma manera la versión de conector de bus con sistema de conexión Sub-D, RJ45 o M12 permite optimizar los equipos que deben conectarse [28].



Figura. 3.23. Conector de bus PROFIBUS.

Fuente: [28].

3.12.4. Cable de comunicación

La transmisión de los datos se efectúa mediante el cable de PROFIBUS el cual es un cable bifilar trenzado y apantallado mediante un puerto RS485 trabaja con diferencias de tensión. Por tanto, es más inmune a perturbaciones que una interfaz que trabaja con niveles de tensión o corriente [28].



Figura 3.24. Cable para conexión en la comunicación USS.
Fuente: [28].

3.13. Variador de Frecuencia

El variador es un aparato convertidor utilizado para cambiar la frecuencia esto da lugar a la velocidad de un motor de inducción asincrónico la misma que produce corriente alterna a través de la frecuencia y tensión suficientes para poner en marcha dicho motor de inducción. La función del convertidor permite variar los valores de frecuencia para que un motor gire a una determinada velocidad, esto dependerá de la disposición de la red de alimentación [29].

- **Características:** Varios parámetros de configuración para aplicaciones, tiene tres relés de salida, contiene entradas digitales y salidas análogas, altas frecuencias y funcionamiento no ruidoso del motor.
- **Usos:** Control de motores, sistemas de automatización.
- **Ventajas:** Funciones de protección, posee tecnología transistor bipolar de puerta aislada (IGBT). Esto hace que sea fiable y versátil.
- **Desventajas:** Se utiliza únicamente para motores de 1 HP de potencia máxima [30].

3.13.1. Tipos de variadores de frecuencia:

Se determinan mediante los siguientes tipos, [31].

- **SINAMICS G110:** Posee una amplia variedad de accionamientos mediante su parametrización para la velocidad.



Figura 3.25. Variador SINAMICS G110
Fuente: [31].

- **SINAMICS G120:** Es un convertidor de alta eficiencia energética, es universal para desempeño en todos los campos de la industria puede combinar módulos y elevar su potencia.



Figura 3.26. Variador SINAMICS G120.
Fuente: [31].

- **MICROMASTER 420:** Recomendable para una cantidad de aplicaciones en especial para el control de velocidad.



Figura 3.27. Micromaster 420.
Fuente: [31].

3.13.2. MICROMASTER MM 440

El variador de frecuencia modelo Micromaster 440 es un equipo ideal para una diversidad de aplicaciones de control de motores eléctricos, mediante la utilización de múltiples funciones que posee este variador, la aplicación de este variador es muy idóneo en el tema de motores aprovechando su funcionabilidad al completo, el Micromaster 440 se puede manipular en aplicaciones de sistemas de automatización aisladas o a su vez integradas [30].

3.13.3. Esquema del MICROMASTER MM 440

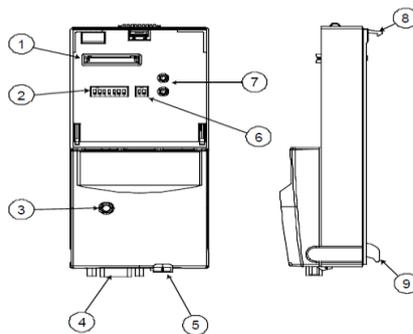


Figura 3.28. Partes del variador de frecuencia Micromaster MM 440.
Fuente: [26].

1. Conector para panel

2. Interruptores para dirección de PROFIBUS
3. Indicador de estado del módulo PROFIBUS
4. Interfaz o puerto PROFIBUS
5. Conexión local 24 V
6. (sólo para uso interno de Siemens)
7. LED de estado de funcionamiento
8. Elemento de enganche
9. Tope de sujeción [26].

3.14. Encoder

El encoder es un sensor para realizar medición en sistemas rotacionales, también se les puede llamar tacómetros o codificadores de posición, es un elemento que convierte el movimiento rotacional o lineal en una señal digital equivalente y relativa, se determina los siguientes tipos [32].

3.14.1. Encoder óptico

Es un sensor con elementos opto electrónicos, funciona mediante un disco ranurado que encaja al eje del motor, mediante el giro produce una señal de forma alterna emisor- receptor.

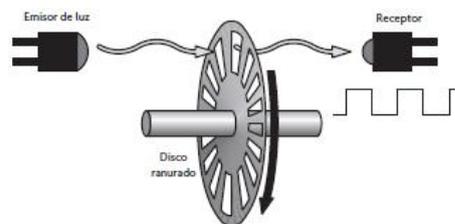


Figura. 3.29. Encoder óptico
Fuente: [32].

3.14.2. Encoder absoluto

Se forma mediante varias bandas y utiliza código gray, está formado de un par receptor y emisor situado en una parte opaca o a su vez transparente del disco de esta manera genera una salida.

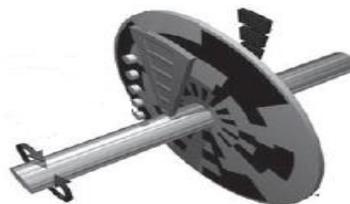


Figura 3.30. Encoder absoluto
Fuente: [32].

3.14.3. Encoder incremental

Este aparato es relativo debido que se encuentra compuesto por un disco giratorio con un arreglo de diodos tipo LED, a través de una luz que emite mediante ranuras del disco rotatorio, de la misma forma el resultado de los rayos pasan por las rendijas A, B y Z estos son detectados mediante elementos fotosensibles, una luz que atraviesa las rendijas A y B tiene una diferencia de fase de un ángulo de 90 grados, el encoder de tipo incremental está compuesto de una salida en forma de pulsos estos son proporcionales con relación al ángulo de rotación [33].

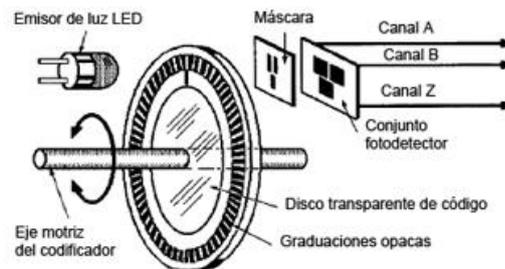


Figura. 31. Encoder incremental

Fuente: [34].

3.14.4. Esquema del encoder

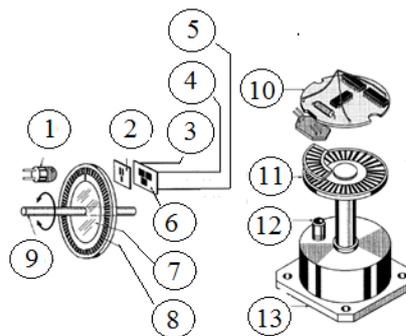


Figura. 32. Partes fundamentales de encoder incremental.

Fuente: [34].

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1. Emisor de luz LED | 10. Plaqueta electrónica |
| 2. Máscara | 11. Disco de código |
| 3. Canal A | 12. Fuente de luz |
| 4. Canal B | 13. Gabinete [34]. |
| 5. Canal Z | |
| 6. Conjunto fotodetector | |
| 7. Disco transparente de código | |
| 8. Graduaciones opacas | |
| 9. Eje motriz de codificador | |

4. METODOLOGÍA

4.1. Declaración de variables

4.1.1. Variable independiente

- Control de velocidad

4.1.2. Variable dependiente

- Velocidad de un motor jaula de ardilla

4.2. Operacionalización de las variables

Se puede observar la descomposición de forma deductiva de las variables que componen el problema de investigación, partiendo desde lo más general a lo más específico.

Tabla 4.1. Muestra de variable independiente.

Variable independiente	Unidad de medida	Instrumento de medición
Control de velocidad	Adimensional Error de la variable de salida en velocidad	Análisis error= SP-PV

Tabla 4.2. Muestra de variable dependiente.

Variable dependiente	Unidad de medida	Instrumento de medición
Velocidad de un motor jaula de ardilla	Rpm	Encoder

4.3. Diseño del módulo de control de velocidad

La estructura mecánica se encuentra construida mediante poleas diámetro 15mm trapezoidales móviles diseñadas en forma de “V”, banda de transmisión 12mm, estructura cuadrada de acero perfil “L” anclada a una base sobre una mesa didáctica de perfil, la perturbación se realiza mediante la aplicación manual de la manija, para ajustar la banda y generar freno al eje del motor, como se puede apreciar en el (Anexo IX).

4.3.1. Diseño del sistema de carga

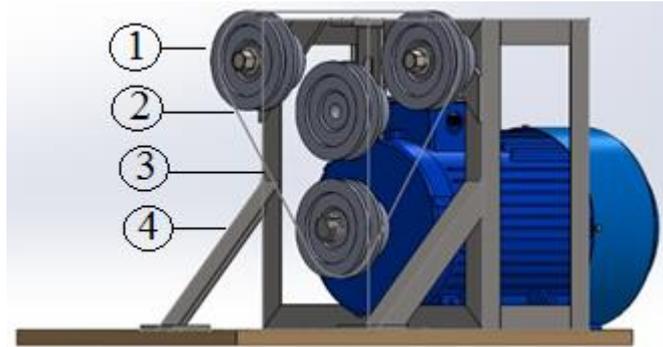


Figura 4.3 . Sistema de poleas para perturbación.

1. Poleas
2. Banda de transmisión
3. Estructura
4. Soportes

Tabla 4.3. Dimensiones de la estructura de perturbación

Características		Medidas
Forma de la estructura	Cuadrado-rectangular	Largo=450mm Ancho=25mm
Material de la estructura	Perfil L-Acero	Alto=26mm
Forma del tren de poleas	Trapezoidal	Diámetro interno= 60mm
Material de la polea	Acero	Diámetro externo= 80mm

4.3.2. Estudio mecánico estructural

El sistema de poleas se determina mediante los elementos que debe tener con la finalidad de frenar el motor de inducción para el objetivo de perturbación y freno para la cual se realiza un estudio de análisis de Von Mises, tiene un límite máximo de elasticidad de $2,068 \times 10^8$, el peso del motor es de 4.7 Kg. Más la fuerza que ejerce al girar el eje en funcionamiento de esta manera se ubica soportes a los extremos de la estructura para aumentar el factor de seguridad. Se puede observar el punto más crítico en la base donde atraviesa el tornillo de ajuste de freno de 2.029×10^6 lo cual se encuentra dentro del límite elástico y ejerce una fuerza vertical y se encuentra reforzada con la guía del tornillo.

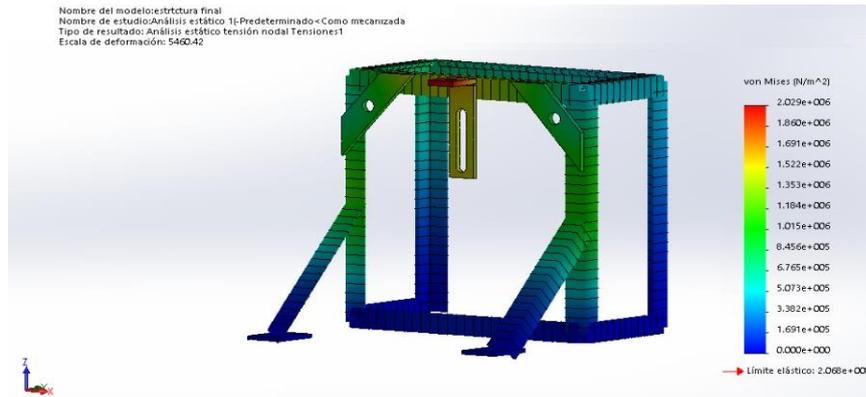


Figura 4.2. Estudio mecánico estructural.

4.3.3. Dimensionamiento de las poleas

Las dimensiones de las poleas se calculan mediante la potencia a transmitir, clase de polea utilizada y la relación de transmisión que se pretenda conseguir se puede expresar de la siguiente forma:

$$Vel = 2 * 10^7 * \frac{P * c}{nD} \quad (4.1)$$

Donde:

P: Potencia nominal del motor en [kW]

n: Velocidad de rotación del motor en [rpm]

D: Diámetro de la polea a emplear en mm

c: 2.2 Factor de tensión para correas especiales de adhesión y correas trapezoidales

4.3.4. Relación torque carga

- Se somete diferentes cargas a distintas velocidades por ende es una aplicación de carga variable.
- Se establece mediante la siguiente ecuación para determinar el torque aplicando la carga en lbf.

$$M = 9.55 * P * \frac{100}{n} \quad (4.2)$$

Donde:

M: Torque en Nm

P: Potencia de salida del motor en kW

n: Velocidad en rpms

4.3.5. Selección de correa de transmisión

Correa trapezoidal en V se adapta a varios tipos de transmisión y se determina mediante la siguiente tabla para su selección.

Tabla 4.4. Selección de la banda de transmisión.

Sección	a [mm]	h [mm]	ap [mm]
A	13	8	11

Donde:

a: Ancho base superior

h: Altura o espesor

ap: Ancho primitivo

4.3.6. Determinación de tipo de transmisión del sistema de poleas

Tren reductor de poleas en forma trapecial:

$$D_1 * N_1 = D_2 * N_2 \quad (4.3)$$

Donde:

D₁: Diámetro de la polea 1

N₁: Velocidad del motor

D₂: Diámetro de la polea 2

N₂: Velocidad del sistema

4.3.7. Perturbación del sistema

Al aplicar un freno en este caso le llamaremos perturbación cambia el valor de la velocidad en disminuyendo, originado torque y disminuyendo su velocidad en el eje del motor en este caso la fuerza es vertical de tipo libras fuerza, utilizando una balanza romana para hacer referencia la cantidad en 50 lb/f máximo que se aplica, la transmisión de la banda se realiza mediante poleas.

La aplicación de la fuerza en la manija frena y disminuye la velocidad del motor

4.4. Cálculo de equipos de control

Mediante la aplicación de las ecuaciones siguiente se determina el cálculo para la selección de los elementos principales que realiza el control como son: PLC, variador de frecuencia, el encoder rotacional y HMI.

4.4.1. Dimensionamiento del PLC

El dimensionamiento se determina tomando en cuenta los aspectos de manejo de motores industriales, velocidad del CPU y entradas digitales mediante variables de retroalimentación.

Tabla 4.5. Selección de la banda de transmisión.

Características	Descripción
Voltaje de alimentación:	110 V AC
CPU:	1212C AC/DC/RLY
Versión:	V4

4.4.2. Control de velocidad a través del variador de frecuencia

El variador de frecuencia Micromaster funciona como un control final de la velocidad del motor de inducción jaula de ardilla y se determina a través de la siguiente ecuación.

$$n = \frac{120 * f}{p}$$

(4.4)

Donde:

n: Velocidad angular del motor [Rev./min]

f: Frecuencia [Hz]

p: Número de pares de polos del motor [adimensional]

$$n = \frac{120 * 60}{4}$$

$$n = 1800 \text{ rev/min}$$

Tabla 4.6. Características del variador de frecuencia.

Característica	Descripción
Marca:	SIEMENS
Modelo:	Micromaster MM440
Input:	1/30 AC 200-240 +/- 10% [V]
Output:	30 AC/ 0-INPUT [V]
Potencia de motor:	0.75 [kW]
Frecuencia:	47-63 [Hz]
Corriente:	8.2/4.7[A]

Fuente: [30].

Tabla 4.47. Parametrización de variador de frecuencia.

Parámetro	Datos del motor	Descripción
P0010	30	Ajustar los parámetros del variador a los definidos de fábrica
P0970	1	
P0003	3	Ingresar al modo de lectura/escritura
P0010	1	Resetear servicio rápido
P0304	220 [V]	Tensión nominal del motor
P0305	1.9 [A]	Intensidad nominal del motor
P0307	0.37[kW]	Potencia nominal del motor
P0310	60 [Hz]	Frecuencia nominal del motor
P0311	1590[rpm]	Velocidad nominal del motor
P0700	5	Ajuste el modo de control local o remoto
P1000	5	Consigna de frecuencia a USS en el puerto COM
P1080	0 [Hz]	Frecuencia mínima
P1082	60[Hz]	Frecuencia máxima
P1120	10.00	Tiempo de aceleración (opcional)
P1121	10.00	Tiempo de desaceleración (opcional)
P3900	1	Finalizar puesta de servicio rápido

4.5. Selección del encoder

Mediante el encoder se obtiene el ángulo de giro del rotor por cada vuelta, al medir el ángulo de giro el encoder entrega una señal de pulsos que permite determinar la relación entre número de pulsos por cada grado, estos pulsos enviados al controlador se determina la siguiente ecuación.

$$360^{\circ} \text{ eléctricos} = \frac{360^{\circ} \text{ mecánicos}}{N^{\circ} \text{ impulsos giro}} \quad (4.5)$$

Donde:

grados eléctricos = Número de grados eléctrico por cada pulso del encoder [°]

Impulsos/giro = Número de pulsos por vuelta del encoder [p/v]



Figura. 4.3. Encoder E50S8-1024-3-T-24.

Tabla 4.8. Características del encoder E50S8-1024-3-T-24.

Característica	Descripción
Marca:	AUTONICS ROTARY ENCODER
Modelo:	E50S8
Pulsos:	1024 [ppv] (pulsos por vuelta)
Canales:	3-2 (A y B pulso índice Z)
Salida:	T (Salida Totem pole)
Alimentación:	12/24 [Vdc]

Fuente: [34].

4.6. Conversión de pulsos

La conversión se realiza mediante el número de pulsos en segundos convertidos en minutos sobre la cantidad de número de pulsos según el encoder, en este caso se utiliza un sensor de 1024 pulsos, obtenemos un lenguaje de lector en rpms, la ecuación es ingresada en el bloque de lector de encoder ingresada en las respectivas funciones ABS, MUL, DIV, realizado en el diagrama Ladder además dependiendo el sentido se proporciona el signo.

$$y = \frac{x * 60Hz}{\# \text{ pulsos}} \quad (4.6)$$

Donde:

y: Valor [rpms]

x: Segundos del encoder [segundo]

Constante para transformar a minutos: 60 [Hz]

De pulsos: Número de pulsos del encoder.

$$y = \frac{x * 60HZ}{1024 \text{ pulsos}} = \text{proporciona la función ABS}$$

4.7. Selección del HMI

El dimensionamiento se determina mediante requerimientos y características de puerto Ethernet y voltaje de salida del PLC.

Tabla 4.9. Características HMI

Características	Descripción
PROFINET LAN	ETHERNET
Voltaje de alimentación	24 V DC

4.8. Diseño del sistema de control

Mediante la investigación bibliográfica [35] se establece una secuencia de pasos que se debe seguir para el diseño de un sistema de control y que se detalla a continuación:

4.8.1. Determinación de un sistema y especificaciones a partir de requerimientos.

Mediante la siguiente tabla se plantea los requerimientos que debe tener un controlador enfocado al tipo de planta que se requiere realizar.

Tabla 4.10. Requerimientos para el controlador.

Funcionalidad	Interfaz de los equipos de control y monitoreo
	Comunicación de equipos mediante protocolo de serie universal
	Variador de frecuencia para motor de potencia 0.5 [HP] – 1[HP]
	Régimen para tipo de control de lazo cerrado y abierto
	Red maestro y esclavo para una comunicación vía bus serie
	Aplicación de carga al rotor para disminuir la velocidad
	Simulación y elaboración de montaje y puesta a punto
	Recepción de señales mediante hardware
	Obtención del valor absoluto mediante la acumulación de los pulsos de salida
Utilización	Conexiones compresibles
	Realizar secuencia de pasos para obtener lazo de control abierto y cerrado
	Adquirir y analizar las curvas.
	Control proporcional integral y derivativo

Fiabilidad	Retroalimentación de lazo cerrado.
	Elemento de control final mediante variador de frecuencia MM440
	Activación de la planta para recompensar el valor
	Regulador de suficiente capacidad en la salida del proceso 1590 rpm
Rendimiento	Control de velocidad máxima de 1590 [rpm]
	Interfaz y visualización de señales mediante HMI del desarrollo de la velocidad y la compensación de las revoluciones
Soportabilidad	Interpretación de curvas en el panel mediante interfaz
	Conexión de los hardware utilizados
	Cargar el controlador diseñado en el software a los equipos.

4.8.2. Trazo de un diagrama de bloques funcional.

Mediante el siguiente diagrama se describe las funciones y el establecimiento de la conexión del hardware utilizado en el circuito de control abierto y cerrado.

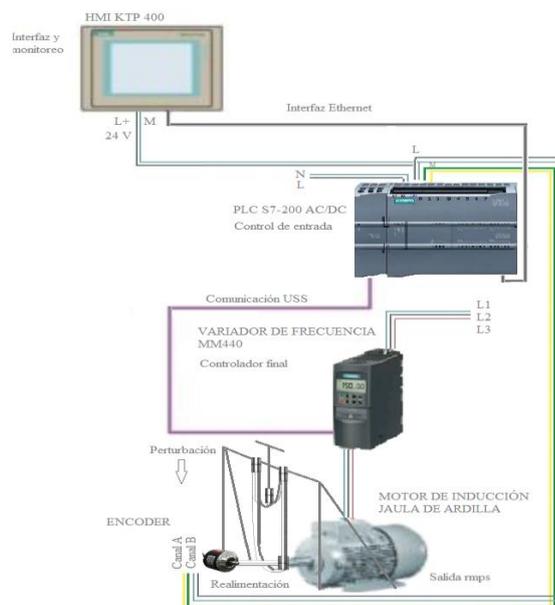


Figura 4.4. Diagrama de bloques funcional.

4.9. Configuración comunicación Modbus PLC y Variador MM 440

1. Interrupción cíclica: Tiempo que tarda en ejecutar la función, para el ingreso de los valores del USS Port:

Tabla 4.11. Requerimientos para el controlador.

Requerimientos de Tiempo	
Velocidad de transferencia: 57600 [baudios]	
Bloque de interrupción: 30 [ms].	

4.9.1. El Bloque de comunicación de red USS

Tabla 4.12. Requerimientos para el controlador.

Variables principales	
<p>RUN: Activación de variador</p> <p>OFF rápido: Paro de emergencia</p> <p>OFF con rampa: Paro rampa de freno</p> <p>Limpiar alarma: Levanta alarmas del variador</p> <p>Sentido de giro: 1 horario 0 antihorario</p> <p>DRIVE: Dirección USS variador</p> <p>PZD_LEN: Tamaño del mensaje</p> <p>Velocidad solicitada: Variable para solicitar la velocidad al variador</p>	

4.9.2. Comunicación del Variador de frecuencia Micromaster MM440:

Tabla 4.13. Requerimientos para el controlador.

Parámetro	Datos	Descripción
P0003	3	Activar modo experto
P2000	60[Hz]	Ajuste de frecuencia de referencia del puerto serie
P2009	0	Ajuste de normalización USS
P2010	9	Ajuste de la velocidad de transferencia.
P2011	2	Dirección del esclavo
P2012	2	Longitud de protocolo USS
P2013	4	Longitud de palabra

P2014	218	Tiempo de espera
P0971	1	Iniciar la transferencia

4.10. Sintonización Tuning

Se utiliza el método Ziegler-Nichols para sintonizar al regulador PID de forma empírica, sin necesidad de determinar las ecuaciones de la planta, los valores que proporciona este método determinan el sistema realimentado a una respuesta a escalón con sobre impulso máximo del 25%, define ganancias proporcional, integral y derivativa a partir de la respuesta del lazo abierto o de lazo cerrado, cada lazo se ajusta al tipo de sistema adecuado.

La sintonización se realiza mediante la creación función rampa para determinar el sistema mediante el ingreso de entrada para obtener la salida utilizando la siguiente herramienta:

Herramienta Trace: Creación de 2 variables de Entrada- Salida.

Tabla 4.14. Creación de 2 variables de entrada y salida.

Entrada	Salida
Rpm	[%MD20]
Rpm ABS	[%MB7]

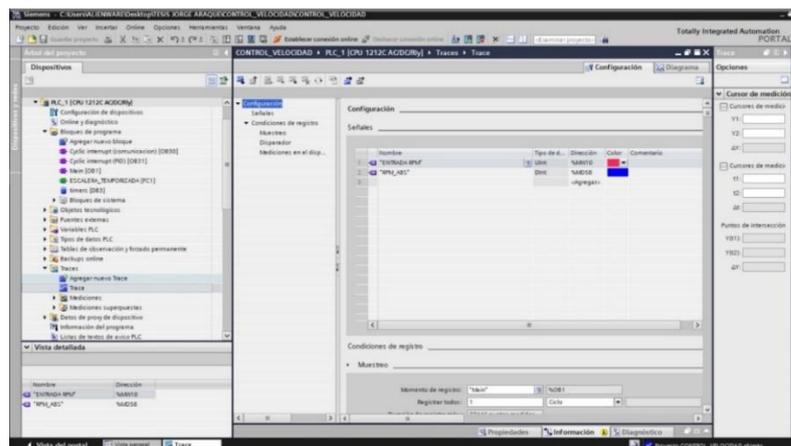


Figura 4.5. Herramienta trace para determinar las variables de salida.

Mediante la herramienta trace del software TIA PORTAL se ingresa 2 variables de entrada representadas como función rampa en lazo abierto, nos evalúa cada cierto tiempo a una determinada velocidad con la finalidad de obtener la relación entrada – salida de esta forma obtener un valor X(ms) a continuación se observa la función rampa que se ingresa como variable de entrada.

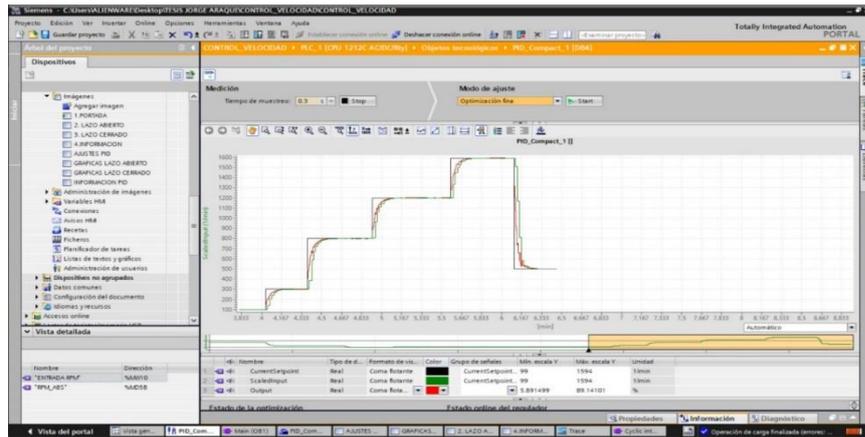


Figura 4.6. Variable de entrada escalón.

Una vez visualizado el desarrollo de la función escalón, mediante la opción de estado en línea CBC de medición se exporta a Excel los valores de la relación entrada- salida de esta forma estamos determinando la constante del sistema:

Para lo cual se detalla la tabla tomada mediante 3 muestras, los valores de excitación del motor X (ms):

Tabla 4.15. Tabla de constante X (ms).

Muestra	X(ms) [07.01.2012 07:38:25 037 UTC	rpm[%MD20]	Velocidad [%MB7]
0	0	0	20
1	2,33836	0	20
2	4,4449	0	20

4.10.1. Función de transferencia

Una vez obtenido los valores X (ms) se procede a realizar la función de transferencia a través de la aplicación en el Workspace se realiza el siguiente procedimiento:

1. Crear un vector angular
2. Crear un vector vacío
3. Crear un vector de referencia del sistema del sistema (r) entrada
4. Crear el vector mediante comando Linespace
5. Crear vector r1 con la referencia transpuesta

```

Editor - C:\Users\Jorge\Desktop\ident.m
Command Window
Warning: The "ident" command is obsolete and may be removed in a future release of MATLAB. Use the "systemIdentification"
command instead.
> In otrMsgUtils_warning (line 25)
   In ident (line 44)
>> tf1

tf1 =

From input "u1" to output "y1":
      6.63e-05
-----
s^2 + 0.05389 s + 1.033e-08

Name: tf1
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
Number of poles: 2   Number of zeros: 0
Number of free coefficients: 3
Use "trfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 99.9% (stability enforced)
FPE: 370.7, MSE: 370.6
>> step(tf1)

```

Figura 4.7. Ingreso de vectores.

6. Seleccionar comando Ident
7. Importar Workspace en dominio de tiempo entrada (r) y salida (w)
8. Estimación de transferencia Ident para datos mediante entrada y salida.
9. Establecer la estabilización en los siguientes parámetros:

Tabla 4.16. Estabilización de la curva

Nº Polos:	2
Nº Ceros:	0

10. Desplazar función de transferencia a función To Workspace
11. Llamar a la función de transferencia.
12. Establecer dinámica del sistema mediante comando Step
13. Visualización de la gráfica amplitud – tiempo

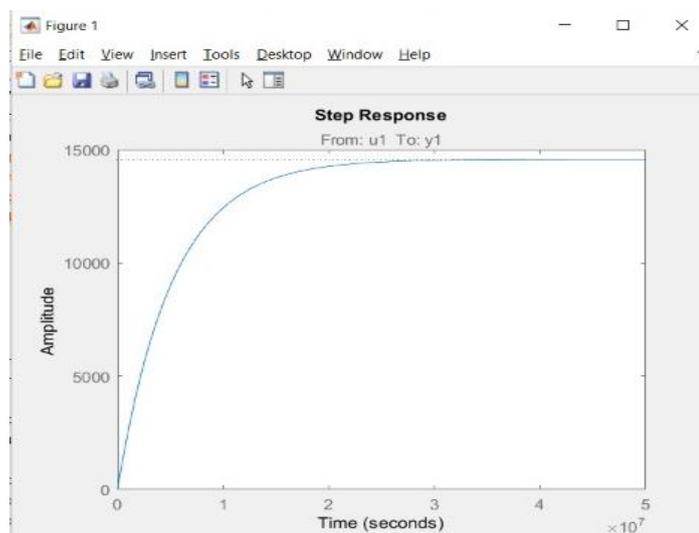


Figura 4.8. Variable de entrada escalón.

14. Ecuación de la función de transferencia: Esta ecuación nos permite obtener las ganancias de las constantes para llevar a una sintonización y estabilización mediante la función Ident de Matlab.

$$C(s) = \frac{6.63e-05}{s^2 + 0,05389s + 1.033e-08} \quad (4.7)$$

15. Mediante la aplicación Simulink se realiza el diseño del diagrama lazo abierto

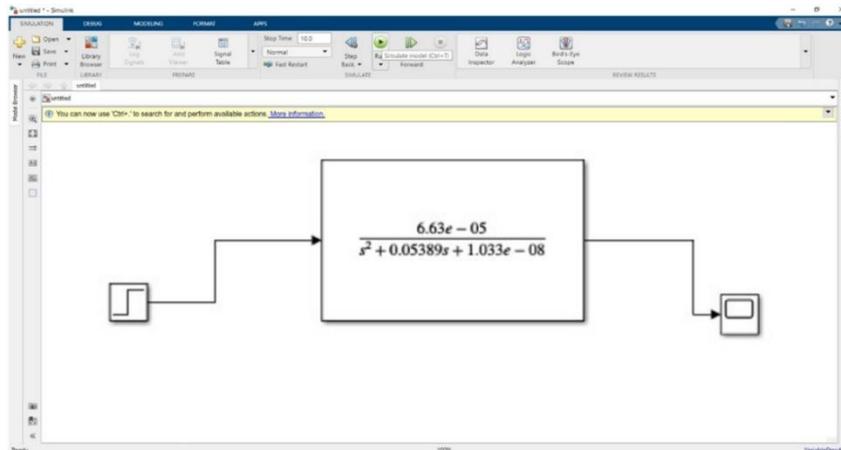


Figura 4.9. Diseño del diagrama de bloques en lazo abierto

16. Configuración de bloques

Tabla 4.17. Configuración de bloques de transferencia

Step		Transfer Fcn	
Step time:	1	Coefficiente numerador	[0.0001593]
Valor inicial:	0	Coefficiente denominador	[1 0.05699 s+1.092e-08]
Valor final:	1	Tolerancia absoluta	Automático

17. Seleccionar simulador “Run” para la verificar la salida

18. Mediante la configurar del dominio del tiempo obtenemos la gráfica de lazo abierto

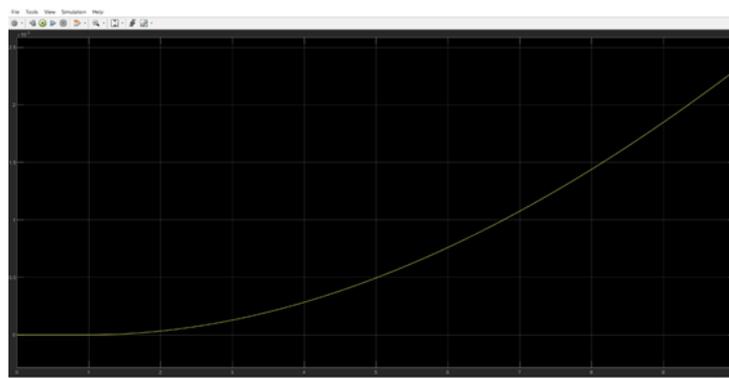


Figura 4.10. Estimación de resultado en lazo abierto.

19. Realizar el diseño del diagrama lazo cerrado

20. Agregar bloque PID(s) y sumador mediante la opción librería.

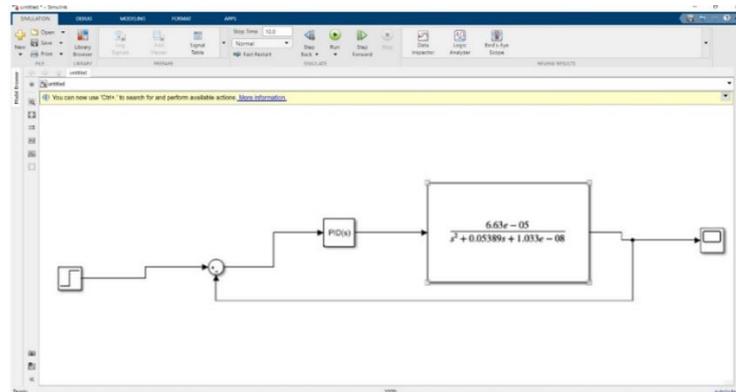


Figura 4.11. Diseño del diagrama de bloques en lazo cerrado

21. Configuración del sumador mediante las siguientes opciones:

- List of signs
- Entradas positiva y negativa (-/+)

22. Seleccionar controlador: PID

23. Obtener constantes (P), (I), (D) y coeficiente (N).

24. Seleccionar Tune y variar la gráfica mediante los siguientes parámetros:

- Amortiguamiento de la grafica
- Tiempo de estabilidad de la curva

25. Seleccionar mostrar parámetros, obtenemos los valores de los constantes (P), (I), (D) y coeficiente (N) iniciales

26. Desplazar los valores a la ventana anterior “obtener constantes”, valores iniciales.

Tabla 4.18. Constantes del controlador mediante sintonización Tuning

Proporcional(P)	Integral (I)	Derivativo (D)
0,010	0,505	0,066

27. Seleccionar aplicar y selección de Run.

28. Visualización de curva controlada.

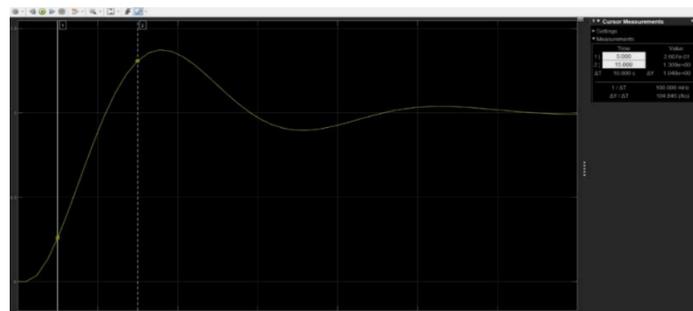


Figura 4.12. Estimación de resultado en lazo cerrado.

- **Datos obtenidos de la función de transferencia:**

Ingreso de datos: Excitación del motor X (m) y velocidad medida a la salida.

Función de transferencia: Se obtiene velocidad sobre voltaje de entrada

Respuesta con respecto al tiempo, mediante esta gráfica podemos ver su comportamiento y su amortiguamiento, el tiempo de estabilización del sistema rápido o lento, la necesidad de la planta en lazo cerrado máximo 1%, en lazo abierto es considerable la variación no se estabiliza.

4.10.2. Sintonización mediante OPS

1. Mediante la aplicación OPS se crea dos variables las cuales permitirán leer datos de entrada y salida mediante la conexión de la planta.
 - Variable PV
 - Variable SP
2. Ingreso de distintas velocidades mediante el funcionamiento de la planta para determinar el comportamiento del sistema, facilita una tabla de la relación de variables de entrada y salida de velocidad.

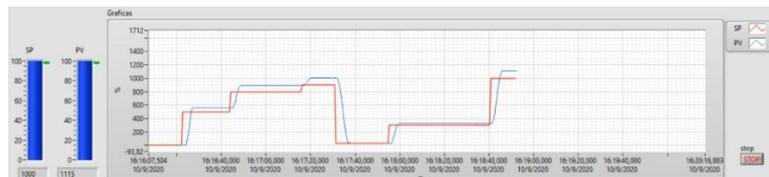


Figura 4.13. Determinación de la relación de variables entrada y salida

3. Mediante el siguiente gráfico se puede visualizar la estimación de curvas, se encuentra la corrección de curvas de controlador tipo PID.

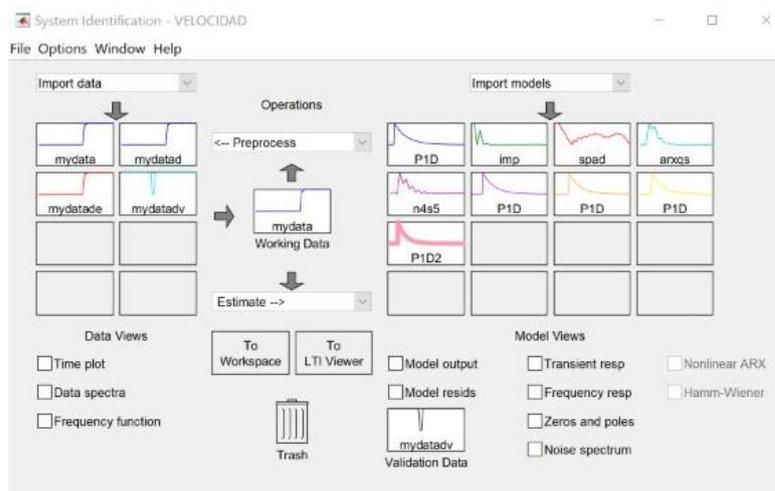


Figura 4.14. Estimación de curvas

4. Finalmente se proporciona la función de transferencia para la planta, mediante la determinación de las siguientes ganancias para ingresar en los distintos métodos de sintonización utilizados.

$$C(s) = \frac{Kp}{1+Ti+s} * \exp(-Td * s) \quad (4.8)$$

Tabla 4.19. Constantes del controlador mediante sintonización OPS

Kp	Ti	Td
1,1192	1,7816	2,443

4.10.3. Selección del método de sintonización

Los métodos de sintonización se desarrollan mediante la selección de la herramienta de ecuaciones Tuning Method mediante un set point (SP) de 28.84:

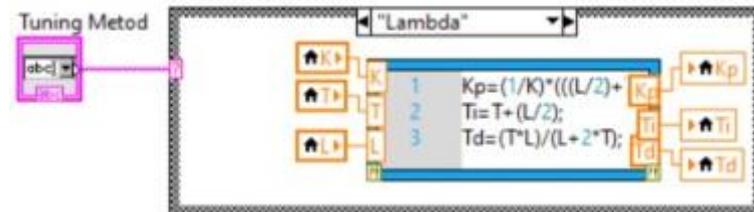


Figura 4.15. Herramienta Tuning Method

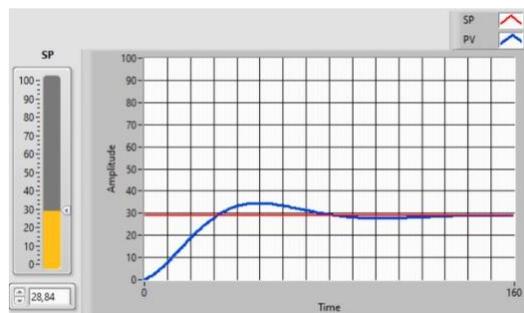


Figura 4.16. Gráfica método de sintonización Lambda

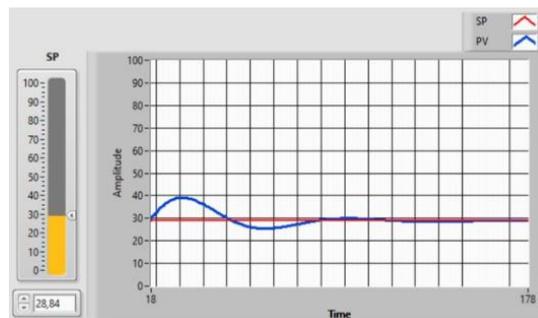


Figura 4.17. Gráfica método de sintonización de López

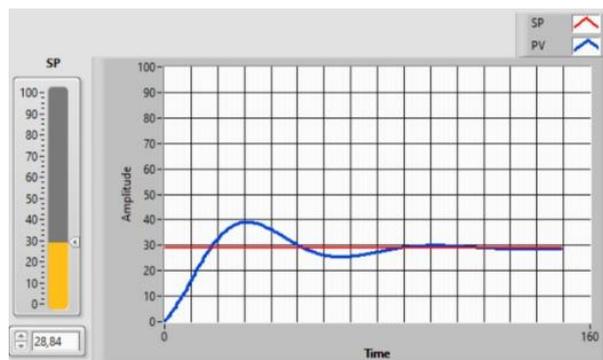


Figura 4.18. Gráfica método de sintonización Rovira

Tabla 4.20. Comparación de método de sintonización.

Métodos de sintonización	Constantes de Sintonización		
	Kp	Ti	Td
Lambda	0,262272	3,0031	0,724659
López	0,958656	2,56048	1,21946
Rovira	0,958656	2,57048	1,22957
Ziegler- Nichols	0,957656	2,66048	1,88957

Se concluye que el método Rovira tiene un porcentaje mayor de acercarse a una estabilización del sistema y realidad de la planta.

4.10.4. Ajuste de parámetro PID

Mediante los métodos utilizados, se ajusta los valores que con un porcentaje más cerca a la realidad.

Tabla 4.21. Tabla de constantes ajustados para el PID.

K _p	T _I	T _D
+0,008	0,591	0,073

4.10.5. Algoritmo de control PID para el controlador:

La ecuación que se ingresa al PLC S7- 1200 AC/DC RELAY es el algoritmo obtenido en la programación TÍA portal PID, se expresa mediante la ponderación de las acciones P y D. EL valor de salida. Mediante esta ecuación el programador puede ejecutar el lazo de control cerrado a continuación:

$$y = k_p \left[(b * w - x) + \frac{1}{T_I \cdot S} (w - x) + \frac{T_D \cdot S}{a \cdot T_D \cdot S + 1} (c * w - x) \right] \quad (4.9)$$

(4.13)

Donde:

y: valor de salida

x: Valor real

k_p : ganancia proporcional

T_i : Tiempos de integración

s: Operador la place

T_D : Tiempo derivativo

b: Ponderación de la acción P

c: Ponderación de la acción D

w: Consigna

a: Coeficiente para el retardo de la acción derivada ($T_i - a * x * T_D$)

Mediante esta ecuación el programador puede ejecutar los lazos de control abierto y cerrado.

5.10.6. Dinámica del motor con perturbación:

La perturbación suma al sistema y altera la variable que se controla en este caso la velocidad, para lo siguiente se integra sumadores al sistema de bloques para verificar el valor del error y cuanto proporciona el controlador para estabilizar el sistema y cumplir el set point.

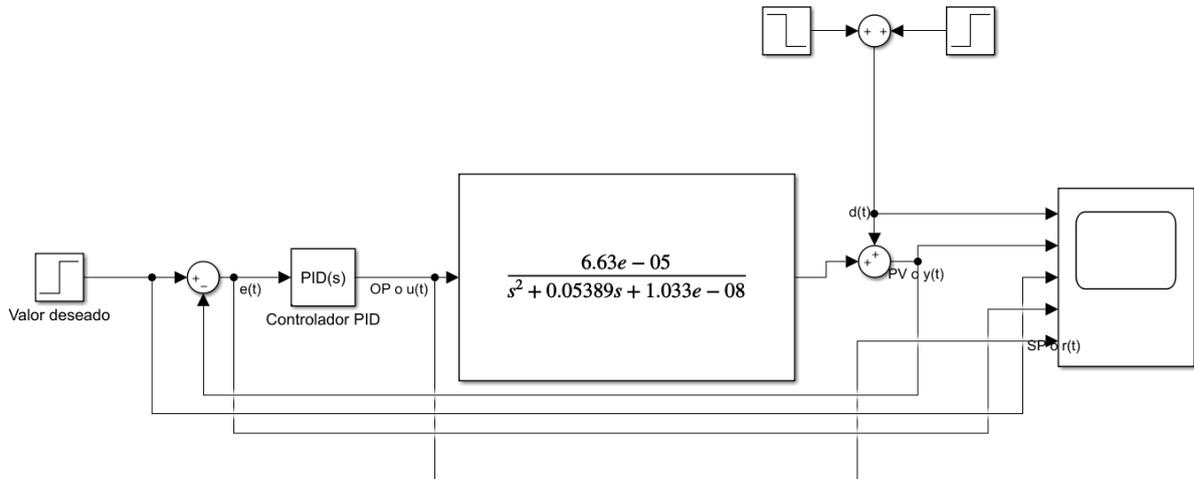


Figura 4.19. Diagrama de bloques en lazo cerrado

Tabla 4.9. Variables de la dinámica de la velocidad

Indicador	Descripción
	Set point SP
	Variable controlada PV
	Perturbación
	Error
	Respuesta del cotrolador

Mediante la siguiente ilustración se demuestra la dinámica del proceso de velocidad del motor sometido a varias perturbaciones y cargas variables, se establece así el valor requerido SP, obteniendo la variable controlada PV, el error indica la diferencia que se genera entre el SP y

PV cuando se aplica la perturbación, la salida del controlador proporciona la cantidad que se debe aumentar a disminuir para obtener el set point deseado.

Para observar el comportamiento del sistema ubicamos un set point de 1000 rpm, se obtiene la variable controlada al cual se aplica una perturbación de 40lbf, altera el sistema generando un error de la salida del controlador proporciona para establecer el sistema.

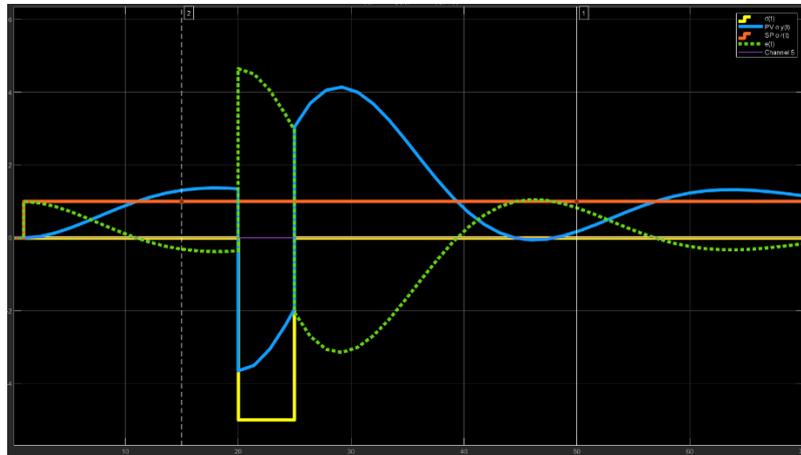


Figura 4.20. Dinámica de las variables

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Descripción del Equipo

El presente proyecto es el desarrollo de un módulo de control de velocidad de motores de inducción jaula de ardilla, mediante variador de frecuencia y visualización en HMI para realizar prácticas de laboratorio con la finalidad es desarrollar la preparación del estudiante de la Carrera de Ingeniería Electromecánica en técnicas de control mediante controlador PID. El módulo de velocidad de motores es un control de lazo de tipo abierto o cerrado, mediante un sistema de poleas según se ajuste manualmente la manija frenará el eje del motor para posteriormente verificar si cumple el set point caso contrario proporciona una retroalimentación en lazo cerrado para aumentar la velocidad del mismo. Los componentes principales del proyecto es el sensor rotativo incremental, un variador de frecuencia, un controlador PLC, una pantalla HMI estos elementos procesan, ejecutan los datos y visualizan el control de esta manera el estudiante podrá efectuar su aplicación, para el desarrollo del proyecto se utiliza específicamente un motor de inducción jaula de ardilla 1LA7 070-4YA60 SIEMENS.



Figura 5.1. Módulo de control de motores de inducción jaula de ardilla.

5.2. Configuración del Controlador PLC

La configuración del controlador PLC S7-1200 AC/DC RELAY, se realiza mediante el software Totally Integrated Automation Portal (TÍA portal) V14 (ver Anexo I.)

5.3. Comunicación

La comunicación se realiza mediante la configuración de módulo de comunicación CM 1241, RS422/485USS del controlador PLC (ver Anexo I) de igual manera mediante la programación del bloque de comunicación e interrupción cíclica para ejecutar el programa en función del tiempo (ver Anexo III).

5.3.1. Configuración del HMI

La pantalla HMI, se implementa en el programa TÍA Portal, para iniciar la programación mediante la selección del dispositivo HMI KTP 400 BASIC para su descripción (Anexo I).

5.3.2. Flujo del HMI

El flujo se realiza mediante el HMI KTP 400 BASIC, se representa mediante la creación de pantallas de portada, lazo abierto, lazo cerrado y sub pantallas como es ajuste de PID, gráficas, informativo para realizar una interfaz y monitoreo (ver Anexo II).

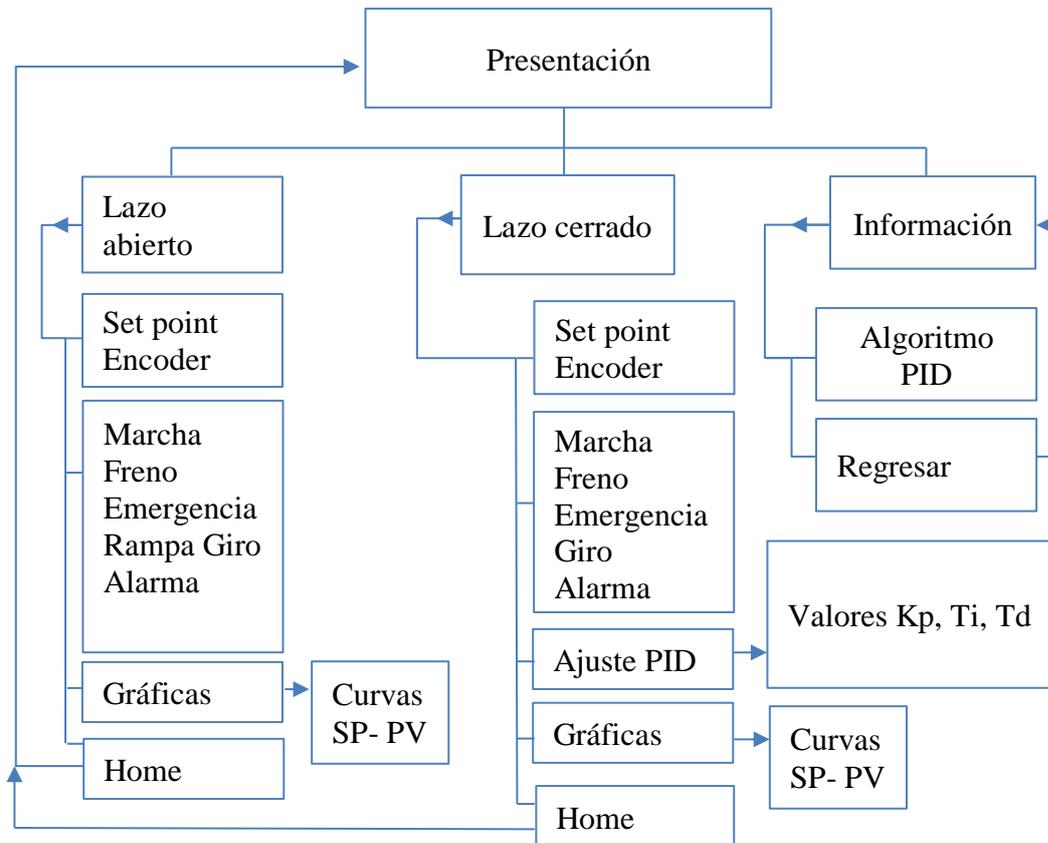


Figura 5.2. Flujograma de pantallas

5.4. Diseño de lógica de operación

Se realiza mediante las siguientes opciones que debe ejecutar el motor durante el proceso, activación del variador, freno, paro de emergencia, sentido de giro y levantamiento de alarma para su descripción (ver Anexo III).

5.5. Diseño de lógica de programación

Se realiza mediante la programación de una serie de funciones de bloque para determinar la secuencia de set point, escalera de tiempos, escalera temporizada, lectura de encoder, control PID, para su descripción (ver Anexo III). La configuración del encoder E50S8-1024-3-T-24, ajuste PID y puesta de servicio se puede apreciar mediante (Anexo I).

5.6. Funcionamiento del control

El funcionamiento del motor se establece mediante los siguientes aspectos de carga que se aplica máxima de 50 lb.f. La velocidad máxima de 1590 rpm.

5.6.1. Control de lazo abierto:

El control en lazo abierto se efectúa mediante la siguiente secuencia de funcionamiento para su descripción detallada (ver Anexo II)



Figura 5.3. Interfaz lazo abierto.

5.6.2. Secuencia de funcionamiento en lazo abierto

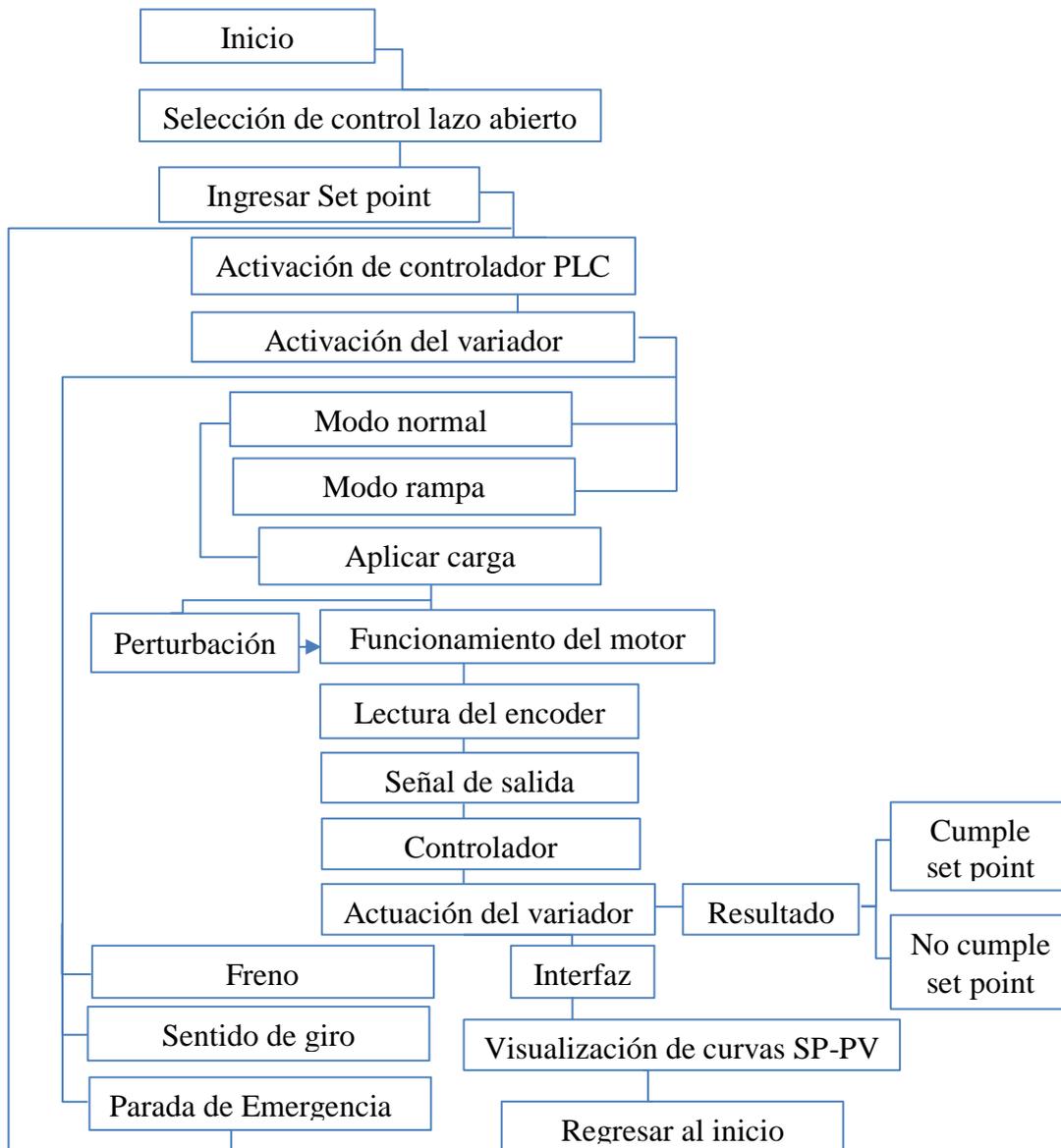


Figura 5.4. Flujograma de control lazo abierto

5.6.3. Control de lazo cerrado:

El control en lazo cerrado se efectúa mediante la siguiente secuencia de funcionamiento para su descripción detallada (ver Anexo II)



Figura 5.5. Interfaz lazo cerrado.

5.6.4. Secuencia de funcionamiento en lazo cerrado

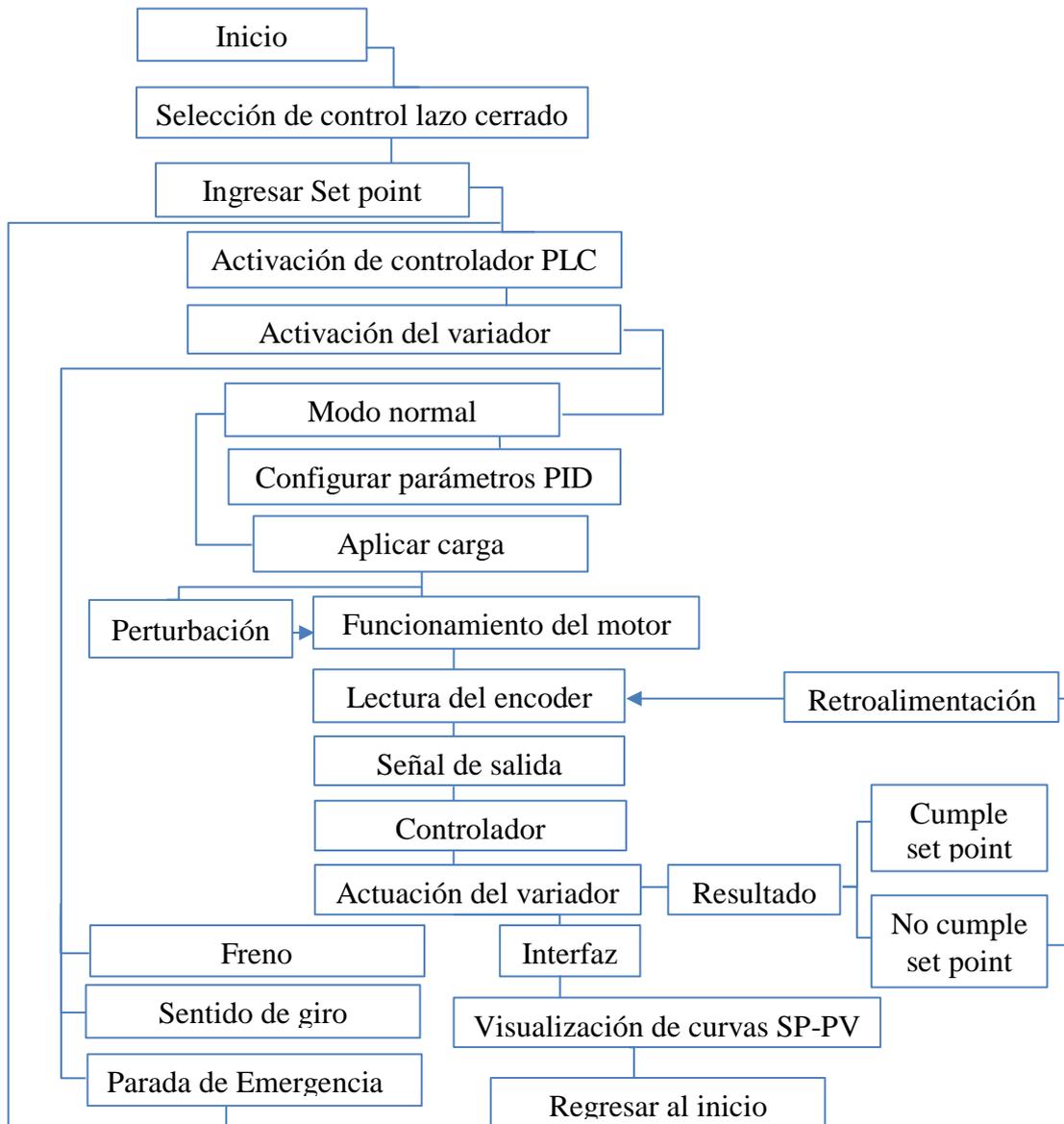


Figura 5.6. Flujograma de control lazo cerrado.

5.7. Visualización de resultados

5.7.1. Descripción de las curvas

Gráfica del set point: 

Gráfica del encoder: 

La mediante la gráfica se representa el valor de set point que debe alcanzar el encoder hasta alcanzar la misma velocidad en rpm.

Tabla 5.1. Resultados del control de lazo abierto (función escalón).

Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)
318	356	12,00	1.69
477	535	18,00	1.68
636	715	24,00	1.71
795	894	30,00	1.67
954	1074	36,00	1.64
1113	1254	42,00	1.61
1272	1434	48,00	1.61
1431	1613	54,00	1.57
1590	1792	60,00	1.40

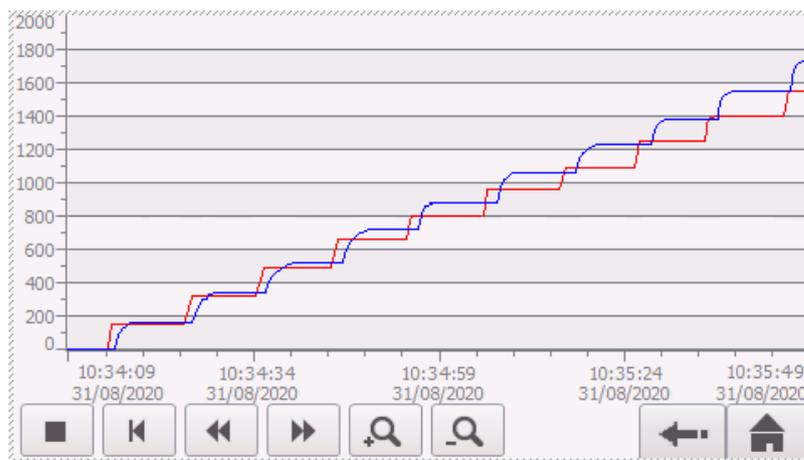


Figura 5.7. Gráfica función escalón en lazo abierto.

Análisis: La proyección de la curva representa la función escalón, el valor set point de 200 [rpm] proporciona un escalamiento del 10% de frecuencia según transita un tiempo estimado de 10 segundos hasta alcanzar el valor máximo en frecuencia de 60 [Hz] y porcentaje en el

100% simultáneamente una vez alcanzado el valor máximo regresa a los valores mínimos de 0%.

Tabla 5.2. Resultado de control de lazo abierto con carga a 100 rpm.

Carga lbf	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
45	100	109	3.77	1.58	3.5335

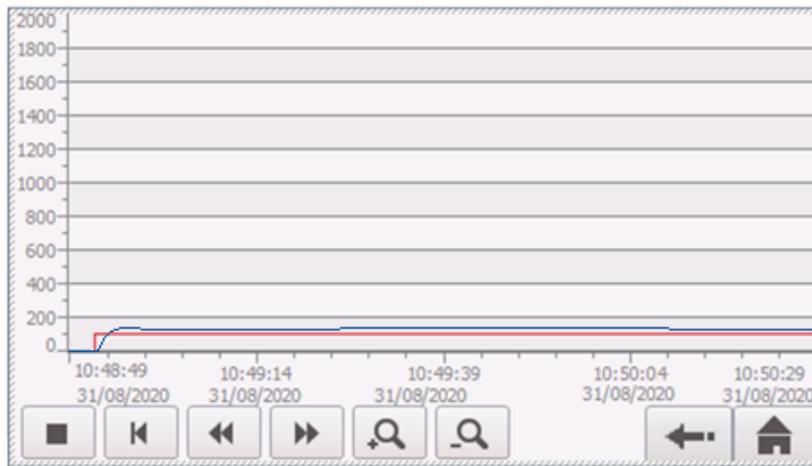


Figura 5.8. Gráfica lazo abierto 100 rpm con carga.

Análisis: El valor deseado es de 100 [rpm], el encoder proporciona 109 [rpm] la diferencia SP-PV entrega un valor de 9 rpm como error estacionario y un valor de la frecuencia de 3.77 Hz se encuentra en sentido de giro antihorario del motor, el valor deseado se representa mediante la línea roja y línea verde azul lectura del encoder, al encontrarse sin carga las líneas son rectas, existe una diferencia de las líneas no se encuentran alineadas ya que es un control de lazo abierto, la corriente se genera normal debido a que no se somete carga.

Tabla 5.3. Resultado de control de lazo abierto con carga a 500 rpm.

Carga (lbf)	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
40	500	561	18.87	1.67	0.6298

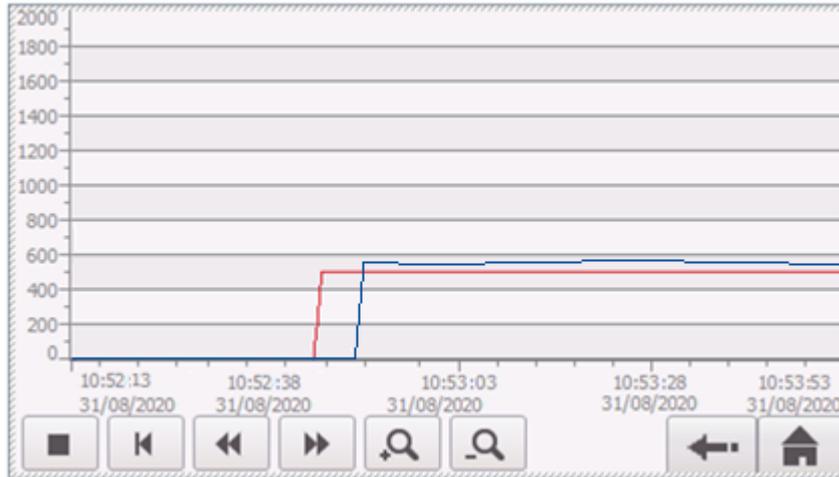


Figura 5.9. Gráfica lazo abierto 500 rpm con carga.

Análisis: El valor de consigna es de 500 [rpm], el encoder proporciona 561 rpm el variador de frecuencia con un valor de 18,87 [Hz] en sentido antihorario del motor, la consigna se representa la línea roja y línea azul la lectura del encoder, se aprecia linealidad de la rectas debido que el motor se encuentra al vacío, existe una diferencia de las líneas no se encuentran alineadas ya que es un control de lazo abierto el valor del encoder no se iguala al valor consigna, se genera la diferencia de 61 rpm como error estacionario, la corriente se genera normal debido a que no se somete carga y se encuentra carga al vacío.

Tabla 5.4. Resultado de control de lazo abierto con carga a 800 rpm.

Carga (lbf)	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
45	800	833	30.19	1.49	0.4241

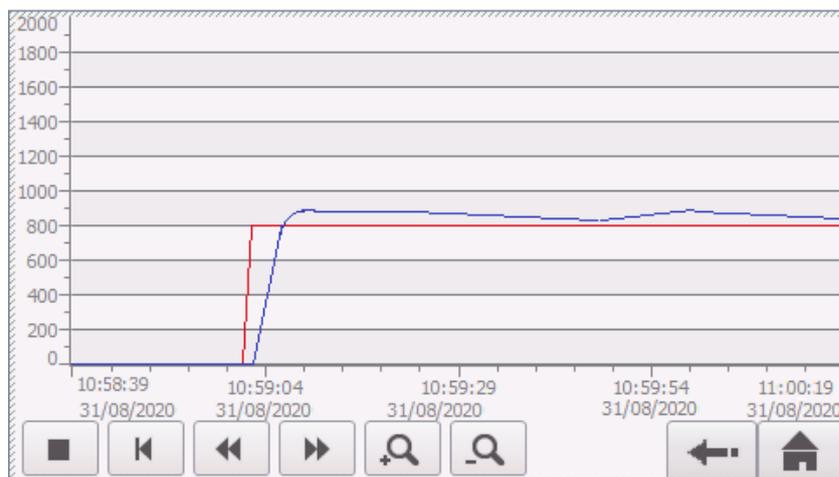


Figura 5.10. Gráfica lazo abierto 800 rpm con carga.

Análisis: Mediante un set point de 800 [rpm] el encoder proporciona 833 [rpm] existe una diferencia de 33 [rpm] y un valor de la frecuencia de 30,19 [Hz] en sentido de giro antihorario del motor, el set point se representa mediante la línea roja y línea azul lectura del encoder, al encontrarse con perturbación las líneas no son rectas, existe una diferencia de las líneas no se encuentran alineadas ya que es un control de lazo abierto, antes de frenar y someterle a carga la corriente es de 1.65 [A]. Después se observa que disminuye la corriente y genera un valor de 1.49 [A].

Tabla 5.5. Resultado de control de lazo abierto con carga a 1200 rpm.

Carga (lbf)	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
35	1200	1314	45.28	1.54	0.2689

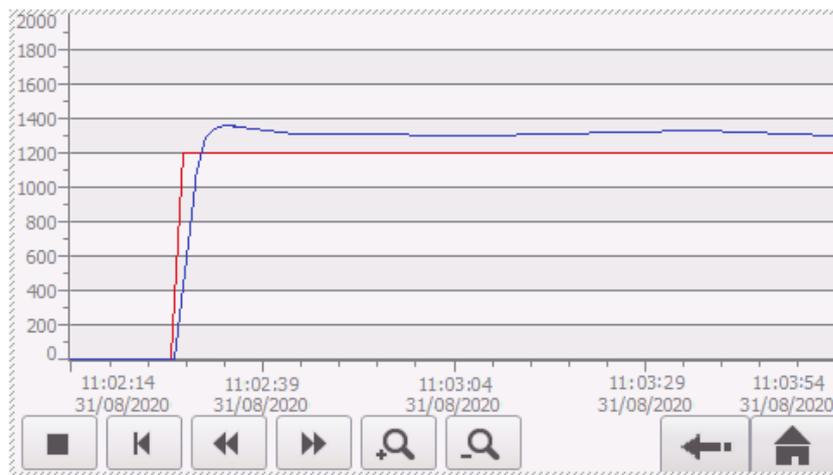


Figura 5.11. Gráfica lazo abierto 1200 rpm con carga.

Análisis: El valor de consigna es de 1200 [rpm] el encoder proporciona 1314 [rpm] existe una diferencia de 114 rpm como error estacionario y un valor de la frecuencia de 45,28 [Hz] en sentido de giro horario del motor, la consigna representa mediante la línea roja y línea azul lectura del encoder, al encontrarse con perturbación las líneas no son rectas, existe una diferencia de las líneas no se encuentran alineadas ya que es un control de lazo abierto lo cual hace una gran diferencia entre estos dos valores, antes de frenar y someterle a carga la corriente es de 1.60 [A] posteriormente disminuye la corriente obteniendo un valor de 1.54 [A].

Tabla 5.6. Resultado de control de lazo abierto con carga a 1500 rpm.

Carga (lbf)	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
45	1500	1681	56.60	1.28	0,2102

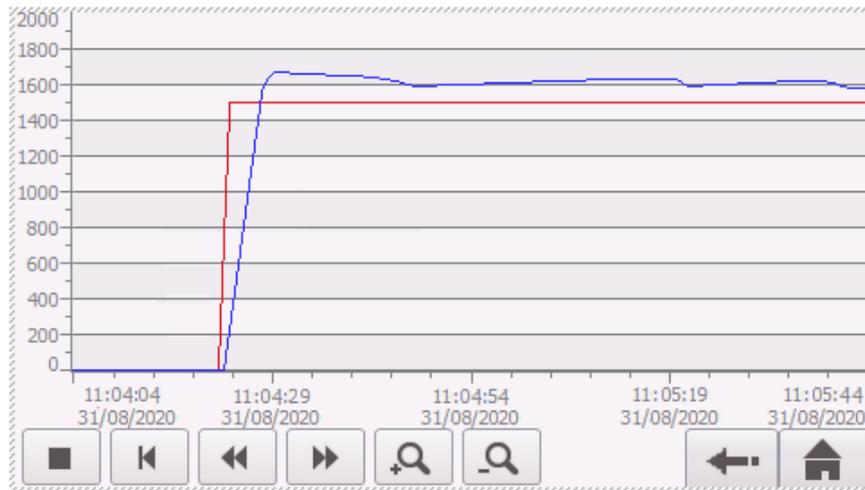


Figura 5.12. Gráfica lazo abierto 1500 rpm con carga.

Análisis: El valor requerido es de 1500 [rpm], el encoder proporciona 1681 [rpm] existe una diferencia de 181 como error en [rpm] y un valor de la frecuencia de 56.60 [Hz] , el motor se encuentra en sentido antihorario, el valor requerido (SP) se representa mediante la línea roja y línea azul representa la lectura del encoder (PV), al encontrarse con perturbación las líneas no son rectas, existe una diferencia de las líneas no se encuentran alineadas ya que es un control de lazo abierto existe una gran diferencia entre estos dos valores de esta forma el lazo de control no llega al valor requerido , antes de frenar y someterle a carga la corriente es de 1.56 [A] después disminuye la corriente a un valor de 1.28[A].

Tabla 5.7. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 300 rpm.

Carga (lbf)	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
45	300	300	10.15	1.66	1.1778

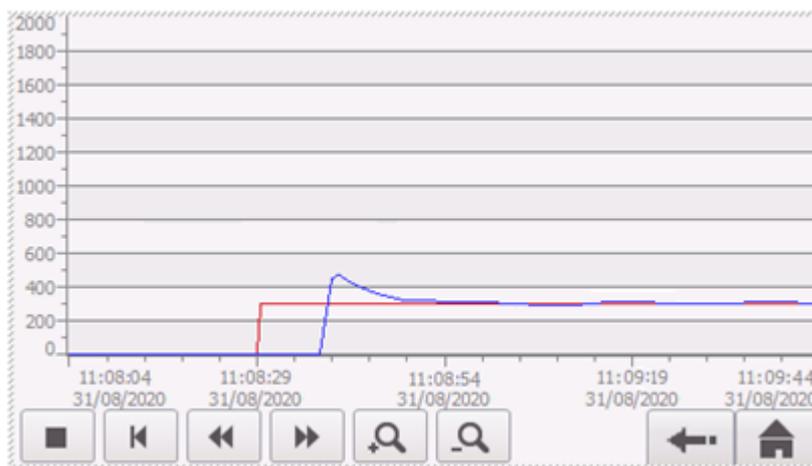


Figura 5.13. Gráfica lazo cerrado 300 rpm con carga.

Análisis: Mediante un set point (SP) de 300 [rpm] el encoder entrega 300[rpm] además un valor de la frecuencia de 10,15 [Hz] en sentido antihorario del motor, el set point se representa mediante la línea roja y línea azul la lectura del encoder (PV), en este caso al encontrarse sin carga las líneas son rectas no observamos perturbación en la línea azul, se encuentran alineadas ya que el control de lazo cerrado hace que haya una retroalimentación y por ende actúa el controlador PID , el encoder recompensa y estabiliza el set point (SP) mediante la lectura del encoder, la corriente se produce normal debido a que no se somete carga.

Tabla 5.8. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 700 rpm.

Carga (lbf)	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
45	700	700	23.63	1.72	0,5047

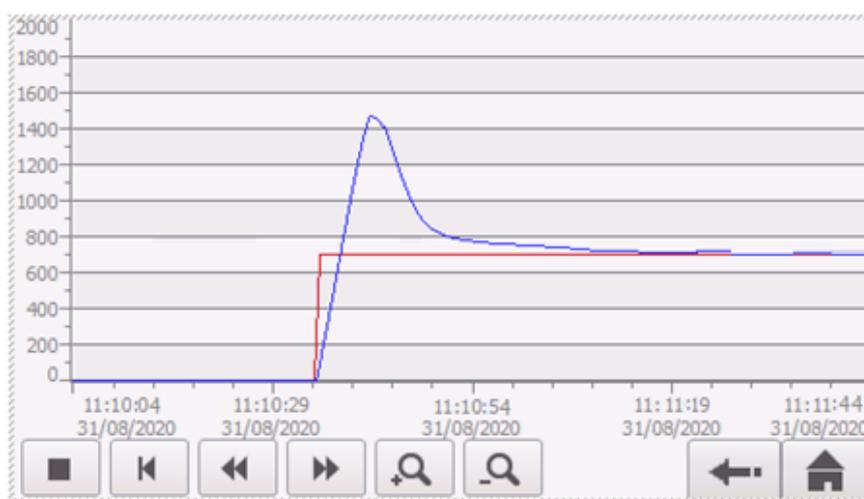


Figura 5.14. Gráfica lazo cerrado 700 rpm con carga.

Análisis: Se establece una consigna 700 [rpm], el encoder proporciona 700 [rpm], no se genera error estacionario y se encuentra controlado, el valor de la frecuencia es de 23,63 [Hz]

en sentido anti horario del motor, la consigna se representa mediante la línea roja y línea azul lectura del encoder, al encontrarse sin carga las líneas son rectas no existe perturbación, las líneas se encuentran alineadas ya que es un control de lazo cerrado el valor del encoder sube conforme pasa el tiempo hasta alcanzar el valor de consigna y estabilizar el sistema, la corriente se genera normal ya que no se somete carga y se encuentra al vacío.

Resultados del control de lazo cerrado (con carga).

Tabla 5.9. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 900 rpm.

Carga (lbf)	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
35	900	899	32.43	1.53	0.3930

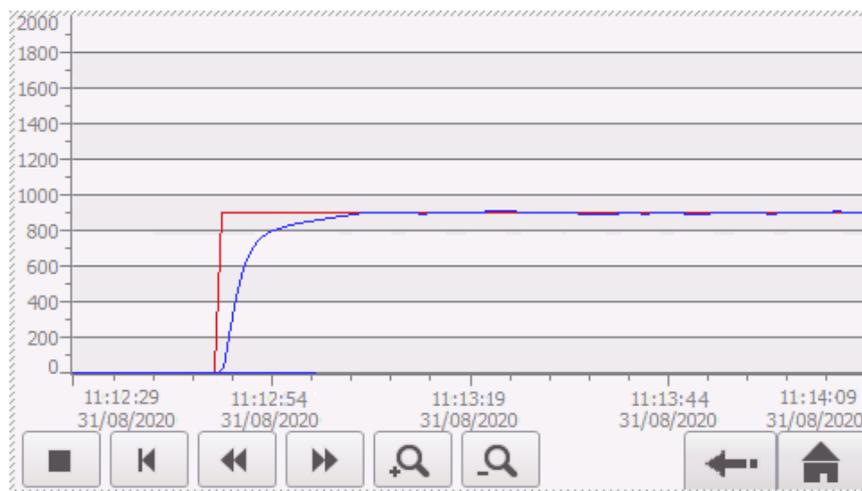


Figura 5.15. Gráfica lazo cerrado 900 rpm con carga.

Análisis: El set point (SP) tiene un valor de 900 [rpm], el encoder genera un valor de 899 [rpm] con un margen de error permitido de 1%, el valor de la frecuencia es de igual manera varía 32.43[Hz] en sentido horario del motor, el (SP) se representa mediante la línea roja y la lectura del encoder (PV) mediante la línea azul, al encontrarse con carga las líneas se encuentran alineadas, a causa de perturbación generado por freno y carga las líneas no son tan rectas y el set point tiene una mínimo tiempo en estabilizarse con error de 1% lo cual está dentro del valor permitido para el control de lazo cerrado la corriente antes de someter a perturbación la corriente es de 1.61 [A] y sometido al freno es de 1.53 [A] sin embargo no es mucha diferencia ya que la planta proporciona una cantidad mínima de corriente para recomenzar y alcanzar el valor deseado mediante incremento de revoluciones.

Tabla 5.10. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 1300 rpm.

Carga (lbf)	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
40	1300	1301	46.10	1.53	0.2715

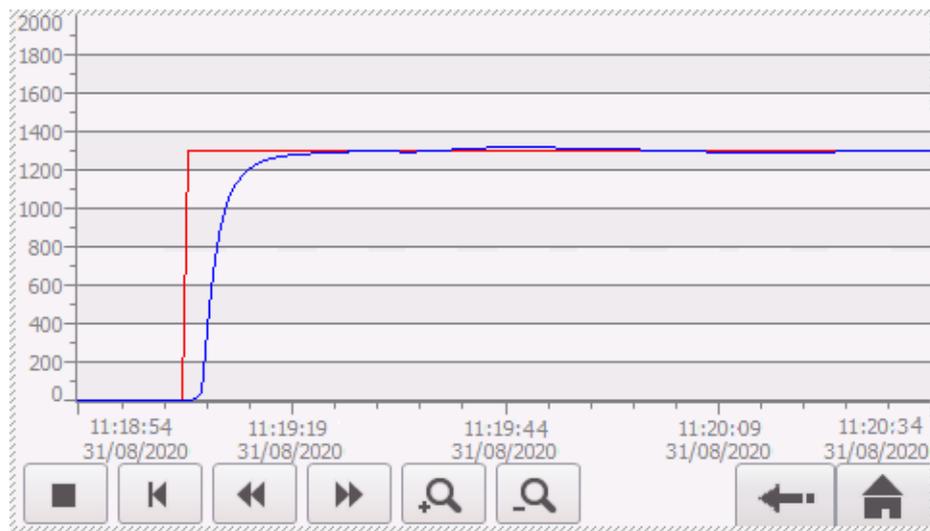


Figura 5.16. Gráfica lazo cerrado 1300 rpm con carga.

Análisis: Mediante un set point (SP) de 1300 [rpm] para velocidades altas el encoder desarrolla los valores 1301 [rpm] con un margen de error permitido de 1%, el valor de la frecuencia es de 10,46 [Hz] en sentido horario del motor, el set point se representa mediante la línea roja y línea verde lectura del encoder (PV), al encontrarse con carga las líneas se encuentran alineadas, a causa de perturbación generado por freno y carga las líneas no son tan rectas y el set point tiene un mínimo tiempo en estabilizarse con error de 1% lo cual está dentro del valor permitido para el control de lazo cerrado la corriente antes de someter a perturbación la corriente es de 1.61 [A] y sometido al freno es de 1.53 [A] sin embargo se controla ya que la planta proporciona una cantidad mínima de corriente para recomenzar y alcanzar el valor de revoluciones.

Tabla 5.11. Resultado de control de lazo cerrado con carga a 1700 rpm.

Carga (lbf)	Set Point (rpm)	Encoder (rpm)	Variador de frecuencia (Hz)	Corriente del motor (A)	Torque N.m
35	1700	1700	58.78	1.21	0.2078

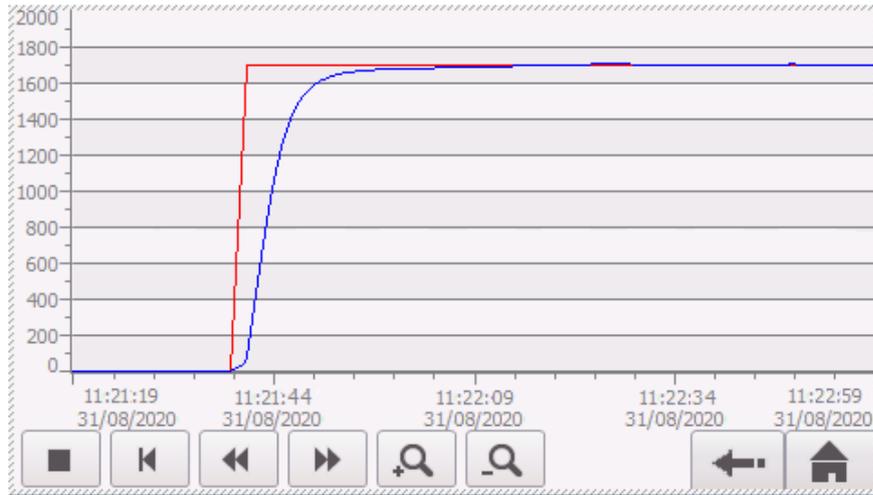


Figura 5.17. Gráfica lazo cerrado 1700 rpm con carga.

Análisis: Para velocidades altas se aplica un set point de 1700 [rpm] para velocidades altas el encoder nos alcanza un valor de 1700 [rpm] con un margen de error permitido de 1%, el valor de la frecuencia varía entre 58.78 [Hz] en sentido horario del motor, el set point se representa mediante la línea roja y línea verde lectura del encoder, al ser un lazo cerrado las líneas se encuentran alineadas, a causa de perturbación generado por freno y carga las líneas no son tan rectas y el set point tiene una mínimo tiempo en estabilizarse con error de 1% lo cual está dentro del valor permitido para el control, la corriente antes de someter a perturbación es de 1.61 [A] y sometido al freno es de 1.53 [A] sin embargo el error estacionario es mínimo, la planta proporciona una cantidad mínima de corriente para recomenzar y alcanzar el valor deseado mediante incremento de revoluciones.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

Mediante los siguientes aspectos se detalla el costo financiero para llevar a cabo la elaboración de la propuesta tecnológica.

6.1. Análisis Financiero

6.1.1. Costos Directos

Son los costos que fueron realizados mediante la compra de cada dispositivo y de cada proceso de construcción y elaboración del módulo didáctico.

6.1.2. Costos de materiales

En la Tabla 6.1. Se detallan a continuación los costos directos de los materiales empleados en el proyecto de titulación.

Tabla 6.1. Costo de materiales utilizados en el diseño del controlador.

MATERIAL DIRECTO				
Detalle	Especificaciones	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
PLC	AC/DC RELAY CPU 1212C	1	350,00	350,00
HMI	KTP 400 BASIC	1	450,00	450,00
Motor de inducción jaula de ardilla	1LA7 070-4YA60 SIEMENS	1	319,70	319,70
Variador	MICROMASTER MM 440 200- 240VAC 6SE6440-2UC17- 5AA1	1	497,84	497,84
Módulo de comunicación RS 485	SIMATIC S7- 1200, CM 1241, RS422/485, Sub- D, 9 Polos.	1	221,09	221,09
Conectores	Banana Plug Retractable sheath 4mm	100 unidades	156,62	156,62
Conectores	Banana Socket 0.157	100 unidades		
Breaker de riel	4 A -3 polos trifásico	1	21,95	21,95
Cable flexible	#18 color plomo	10 m	1,80	1,80
Cable flexible	#18 color azul	15 m	2,70	2,70
Cable flexible	#16 color negro	25 m	2,67	6,61
Cable flexible	#16 color rojo	25 m	2,00	6,61
Cable concéntrico	4x10 AWG	3m	10,56	10,56

Enchufe hembra	16 A	1	5,00	5,00
Terminales U	#22-16 R	10 unidades	0,50	0,50
Punteras	Para entradas PLC	100 unidades	4,00	4,00
Broca	1/8	1	0,50	0,50
Broca	7/16	1	3,79	3,79
Lija	Estearato	1	0,44	0,44
Amarras Plásticas	4,8mmx300mm	100 unidades	2,00	2,00
Estaño	1MM	2 m	1,28	1,28
Cable USB	Transmisión de datos	1	2,30	2,30
Porta Fusible	20MM	1	0,50	0,50
Fusibles	15A	1	0,05	0,05
Entrada ETHERNET	Jack de datos	2	10,00	10,00
Entrada NP9	Conector macho-hembra	2	0,40	0,80
Selector	2 posiciones CAMSCO	1	1,83	1,83
Potenciómetro	5k	2	0,25	0,25
Pulsadores	0.5/250V	2	2,00	2,00
Pulsador de emergencia	C/RET CAMSCO	1	2,85	2,85
Impresiones	Para módulo	4	13,00	13,00
Cable PROFIBUS	1m	1	5,00	5,00
Conector DP9	SIEMENS PROFIBUS FC-RS 485	2	40,00	80,00
Módulo del sistema de carga para motor 1LA7 070-4YA60 SIEMENS				
Encoder	E50S8-1024-3-T-24	1	128,99	128,99
Poleas	Simple fija	3	3,00	9
Rodamientos	Ø15mm	3	3,75	11,25
Banda para polea	17360 12mm	1	6,00	6,00
Perfil tipo L	1pulg.	1	10,00	10,00
Platina	1/8 x 1/2	1	1,00	1,00
Pernos	M10	8	0,10	0,80
Pernos	M6	6	0,10	0,60
Rodelas	M10	4	0,05	0,20
Perno	M24	1	0,50	0,50
Módulo general (Mesa didáctica)				

Retal	PVC color blanco	2	24,05	24,05
Perfiles	Aluminio	4m	18.56	18.56
Tubo rectangular	$\frac{3}{4} \times 1 \frac{1}{2}$	1	11,00	11,00
Tubo rectangular	1x2	1	10,00	10,00
Tornillos de madera para perfiles	1 pulgada	6 unidades	0,30	0,30
Tornillos de metal retal	2 pulgadas	8 unidades	0,40	0,40
SUBTOTAL (\$)				\$2414,22

6.1.3. Costos por mano de obra

En la Tabla 6.2. A continuación se detallan los costos por mano de obra en lo que se refiere a soldadura.

Tabla 6.2. Costos por mano de obra.

MANO DE OBRA				
Detalle	Cantidad	# Horas	Valor Hora (\$)	Valor Total (\$)
Mecánico	1	8	2,41	19,28
Tornero	1	4	5,00	20,00
SUBTOTAL (\$)				\$39.28

6.1.4. Costos indirectos

En la Tabla 6.3. A continuación se detalla los gastos debidos al transporte, alimentación e imprevistos.

Tabla 6.3. Costos indirectos.

MATERIAL INDIRECTO		
Detalle	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
Transporte	3	50
Imprevistos	45	55
SUBTOTAL (\$)		\$105

6.1.5. Inversión Total

Mediante la Tabla 6.4. Se detalla la inversión total del presente proyecto de (*dos mil quinientos cincuenta y ocho dólares y 5/100 dólares*), debido a la elaboración del módulo de control de motores de inducción.

Tabla 6.4. Inversión total.

Material Directo	2414,22
Mano de obra	49,28
Material Indirecto	105,00
COSTO TOTAL (\$)	2558,05

6.2. Análisis de impactos

6.2.1. Impacto práctico

El proyecto ofrece la posibilidad de probar métodos de control y sintonización para motores de inducción jaula de ardilla, mediante el cual los alumnos y docentes podrán verificar tipos de lazo abierto y cerrado aplicando diferentes formas de obtención de las constantes de un controlador, los módulos se comunican en una interfaz entre módulos individuales según el equipo, se puede visualizar las pantallas para la ejecución del proceso de forma comprensible para su manipulación, se efectúan mediante guías prácticas para la instalación, configuración y utilización, además se puede utilizar para ejecutar procesos similares mediante los módulos portátiles.

6.2.2. Impacto tecnológico

El presente proyecto brinda la posibilidad de seguir incrementando más equipos de distintas marcas, de igual manera se actualiza los equipos mediante las aplicaciones encaminadas a desarrollar controladores, se enfoca en utilizar herramientas tecnológicas para desarrollar procesos y redes industriales, en este caso equipos rotativos como son los motores de inducción jaula de ardilla y que son de uso amplio en los distintos campos.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- El lazo abierto es un control con un margen de error considerable lo cual no logra estabilizar el valor del set point (SP) y el medido por el encoder (PV), se puede apreciar la proporcionalidad de la velocidad en relación al tiempo mediante una función escalón.
- El lazo cerrado es un control efectivo que alcanza el punto de consigna, el margen de error es el 1% se determina mediante la diferencia entre el set point (SP) y valor medido del encoder (PV) con perturbación, se efectúa mediante la retroalimentación y actuación del PID.
- La comunicación de los equipos es muy importante para desarrollar un controlador sobre todo en redes industriales, se efectúa mediante una adecuada configuración de un módulo RS-485 para establecer un intercambio de datos entre el variador y el PLC. y para HMI mediante una interfaz Ethernet.
- El método de sintonización se basa en la sintonización fina para lograr estabilizar los parámetros proporcional, integral y derivativo del sistema aplicado al proceso de control de la velocidad y basada en valores generales de los distintos métodos utilizados.

7.2. Recomendaciones

- Para mejorar la funcionabilidad del módulo se recomienda una vez obtenida la Función de Tránsito analizar y simular en softwares especializados.
- Dimensionar adecuadamente los equipos de acuerdo a los requerimientos de la planta tomando en cuenta la capacidad del motor, además seleccionar un variador superior a 1HP para controlar motores de mayor potencia.
- Utilizar la comunicación de aplicación en redes industriales para aprovechar el módulo de expansión RS-485 el cual permite un intercambio de datos rápido y eficiente.
- Analizar los distintos métodos de sintonización para el tipo de controlador que se pretenda realizar según el requerimiento del proceso, posteriormente realizar un ajuste fino para la efectividad para alcanzar el punto de consigna.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Manual del usuario SNIESE».
- [2] Á. Cárate, Diseño y construcción de un módulo con variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla trifásicos para el laboratorio de control industrial, Riobamba, ESPOCH Tesis de Grado; 2011.
- [3] Z. Wilson, Diseño e implementación de un módulo para el control de velocidad de un motor trifásico, Latacunga, ITSA Tesis de grado, 2013.
- [4] V. Arellano, Diseño e implementación de una red industrial utilizando el protocolo uss para el monitoreo y control de velocidad de motores para el laboratorio de redes industriales y control de procesos de la espe extensión latacunga, Latacunga, Cotopaxi, ESPE Tesis de Grado, 2012.
- [5] D. Spartacus, Teoría de Control Diseño Electrónico, Segunda ed., Barcelona: Artympres S.A., 2000.
- [6] D. Massaccesi, Técnicas de Control Automático.
- [7] F. Morilla, «Controladores PID,» Enero 2007.
- [8] E. Mandado, Autómatas programables y sistemas de automatización, Segunda ed., Barcelona: MARCOMBO, S.A., 2009, p. 937.
- [9] V. Alfaro, «Revista Ingeniería,» Revista de la Universidad de Costa Rica, vol. 12, nº 1 y 2, 2002.
- [10] A. Barrios, Análisis de Métodos de Sintonización para Controladores PI Industriales, Cartagena, 2007.
- [11] E. Pruna, «PI and PID Controller Tuning Tool Based on the Lamdda Method,» [En línea].
- [12] H. Enríquez, Curso de Transformadores y Motores de Inducción, Cuarta ed., México: Limusa, 2005.
- [13] Catálogo de motores trifásicos SIEMENS.
- [14] «SIMOTICS Catálogo de motores». SIEMENS, 2013.
- [15] J. L. Crespo, Fundamentos de Electricidad, Primera ed., Madrid: Paraninfo,SA, 2014.
- [16] T. Wildi, Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia, Sexta ed., México: PEARSON EDUCACIÓN , 2007.
- [17] M. Cortes, Curso Moderno de Máquinas Eléctricas Rotativas III Máquinas de Corriente Alterna Asincronas, Barcelona: Editores técnicos asociados, s.a., 1974.
- [18] M. Sobrevila, Accionamiento mediante Motores Asincrónicos Trifásicos en Instalaciones Electromecánicas, Primera ed., Buenos Aires: Alsina, 2001.
- [19] SIMATIC S7 Controlador programable S7 - 1200, Cuarta ed., SIEMENS Manual de sistema, 2012.
- [20] SIMATIC HMI device, KTP 400Basic, KTP600 Basic, KTP1000 Basic, TP1500 Basic, Octava ed., SIEMENS Operating Instructions, 2008.
- [21] H. Berger, Automating with SIMATIC: Controllers, software, programming, data communication, operator control and process monitoring, Quinta ed., 2013.
- [22] SIMATIC HMI Paneles de operador Basic panels, Cuarta ed., Instrucciones de servicio, 2012.

- [23] A. Jamaica, «Estación de trabajo PLC-HMI Simatic con conectividad Ethernet en la Educación en Automatización de acuerdo a la industria 4.0,» Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, vol. Cuatro, n° 11 8-12, Junio 2017.
- [24] J. G. Mejía, TIA PORTAL Aplicaciones de PLC, Medellín, 2017.
- [25] W. Moller, Universal Serial Interface Protocol USS SIEMENS, Novena ed.
- [26] MICROMASTER Módulo opcional profibus, Segunda ed., SIEMENS Instrucciones de servicio, 2012.
- [27] SIMATIC S7-1200 COMINIC. CM 1241, RS 422/485,9 POL SUB D(HEMBRA) SOPORTA FREEPORT, SIEMENS hoja de datos del producto, 2014.
- [28] Soluciones de red para PROFIBUS, SIEMENS respuestas para industria, 2010.
- [29] M. Álvarez, Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, Barcelona: MARCOMBO, S.A., 2000.
- [30] MICROMASTER 440 0,12 kw - 250 kw, Segunda ed., SIEMENS, 2012.
- [31] Catálogo de Variadores de velocidad SIEMENS, Mexico.
- [32] L. Corona, Sensores y actuadores, aplicaciones con arduino, Primera ed., Mexico D.F.: PATRIA, 2014.
- [33] F. Reyes, Control de Robots Manipuladores, Primera ed., Mexico: Alfaomega, 2011, p. 592.
- [34] «Sensores y Controladores Autonicos E50S Series,» [En línea]. Available: www.nainpa.com.ec. [Último acceso: 9 Marzo 2020].
- [35] N. Nise, Sistema de Control para Ingeniería, Primera en español ed., México: Continental, 2004.
- [36] Motores IEC Estándar Bajo-Voltaje, SIEMENS, Manual de servicios 2011.
- [37] «Alibaba.com,» [En línea]. Available: <https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/4mm-safety-banana-plug-telescopic-plug-60681095493.html?language=spanish&redirect=1>. [Último acceso: 15 marzo 2020].
- [38] A. Poznyak, Modelado Matemático de los Sistemas Mecánicos, Electricos y Electromecánicos, 2005.
- [39] J. Montbrun, «PS-2320 Control de Procesos II».
- [40] B. R. Berrones, «Sintonización de Controladores PID para el control de Velocidad de Motores de Corriente Continua mediante Algoritmos Genéticos,» Revista Técnico, Científica PERSPECTIVAS.

ANEXOS

CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS



Software para la Programación

Para la implementación del programa en el PLC – HMI – módulo de comunicación se utiliza TIA PORTAL V14.

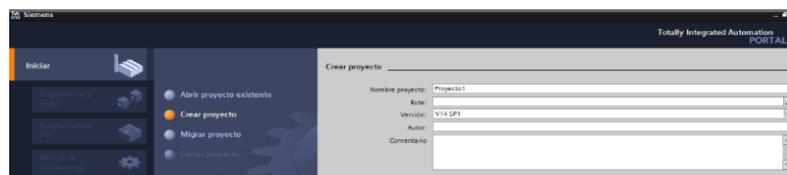
Posee editores de software de SIMATIC los cuales comparten una base de datos común y por ende dentro del proyecto habla el mismo lenguaje. El TIA Portal posee dos editores de software:

- **SINAMICS Step 7:** diseñado para configurar los controladores SIMATIC de la familia S7 1200
- **Wincc:** permite la configuración de los elementos de visualización como SIMATIC Basic Panels.

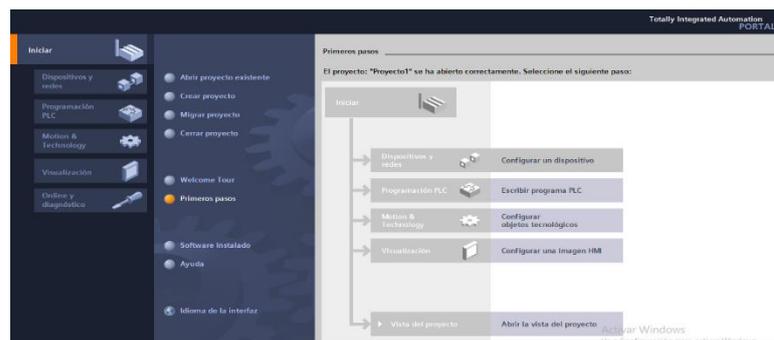
Pasos para la configuración del TIA Portal

Creación del proyecto

La creación de un programa se realiza al iniciar el programa donde pueden crear un proyecto nuevo o abrir un existente, se coloca los parámetros como: nombre, ruta para guardar, autor, y se crea el programa

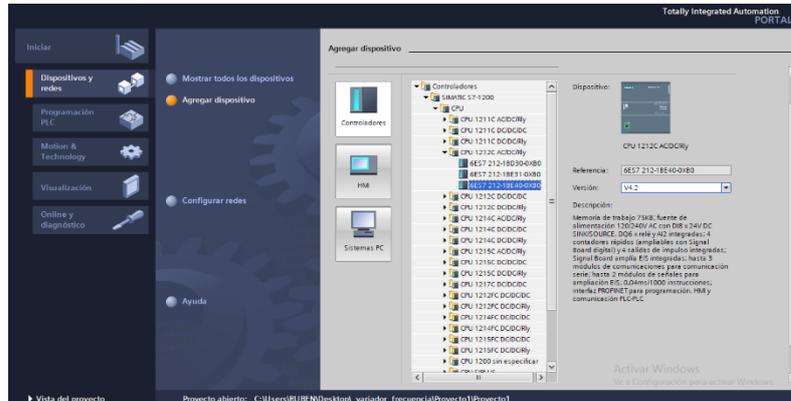


Una vez creado el programa se procede a configurar el programa, es decir se incluye el PLC con el que se va a trabajar. Dar clic en agregar dispositivo



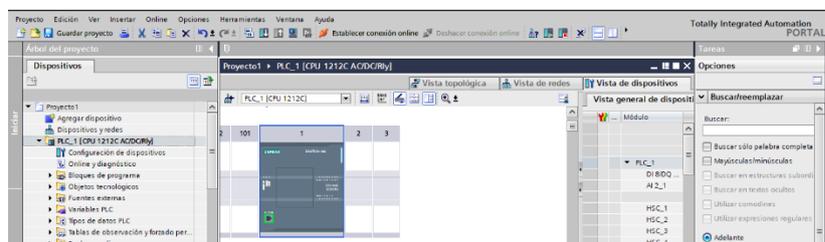


Se procede a seleccionar el PLC con el que se va a trabajar: CPU 1212 AC/DC/RELAY, versión 4.2, al dar clic se carga el PLC y se puede observar las características técnicas en la parte derecha de la pantalla.



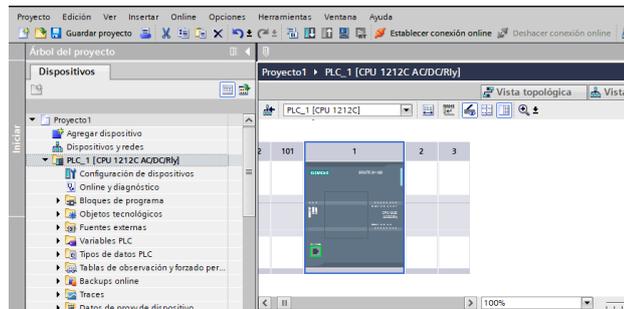
Nota: para ingresar el dispositivo dar clic en la parte inferior agregar.

Ahora se ingresa a la pantalla principal del proyecto, donde se puede observar el PLC seleccionado, en la parte izquierda de la pantalla esta los parámetros para la configuración del programa, en la parte central el dispositivo y en la parte derecha se encuentra los diferentes módulos de expansión del PLC.

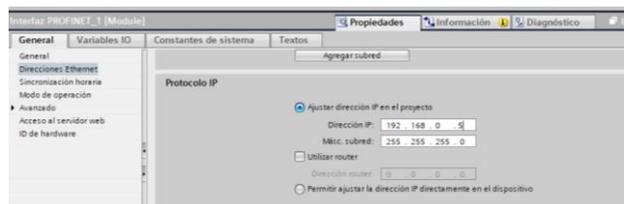




Se procede a configurar la dirección IP para establecer comunicación con el PLC físico, para lo cual se debe dar clic en la parte cuadrada de color verde que nos indica la entrada de la red Ethernet.

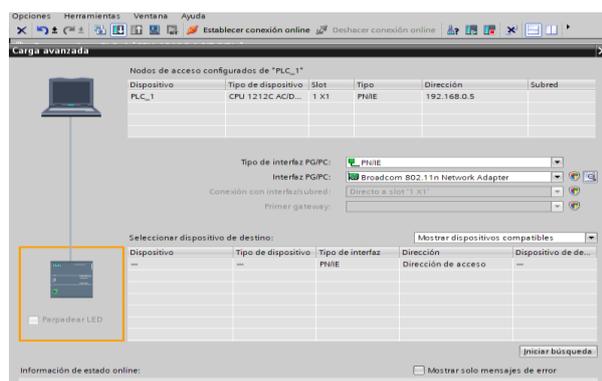


Y aparecerá la siguiente ventana donde se ingresa al Protocolo IP y se configura la dirección se debe recordar que no se puede colocar la primera o última IP debido a que es la máscara.



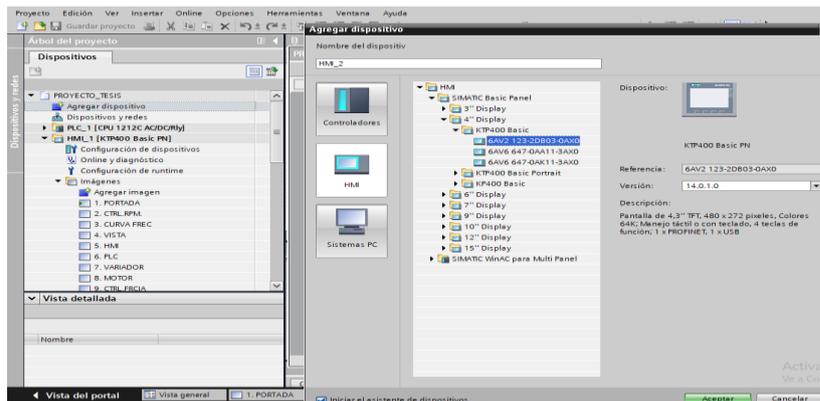
Ya configurada la dirección, se procede a cargar el programa al PLC físico, dar clic en la pestaña cargar y nos aparecerá la siguiente ventana. Para lo cual se debe seleccionar:

- **Tipo de interfaz:** PN/IE
- **Interfaz PG/PC:** Broadcom 802.11n Network Adapter (dependerá de la PC)





Para el acoplamiento de la pantalla HM KTP 400 Basic, se implementa en el programa TÍA PORTAL, para iniciar con la programación de las diferentes ventanas, para lo cual se selecciona en Agregar dispositivo, y seleccionamos HMI como se observa en la figura.

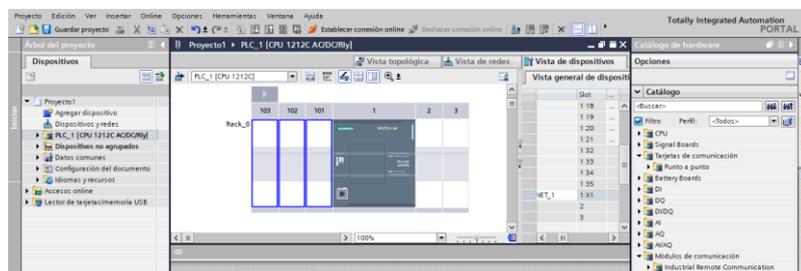




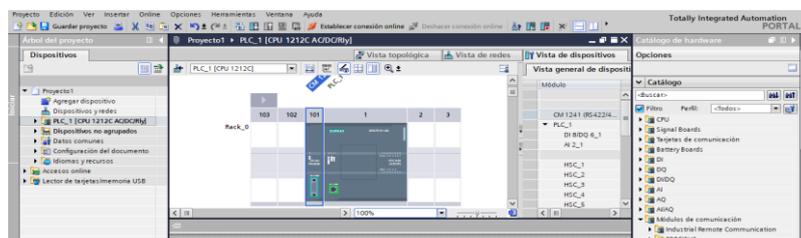
Configuración del módulo de comunicación

Se procede a iniciar la búsqueda del PLC, una vez que lo encuentra se procede a cargar el programa y aceptar todos los parámetros que nos indican el sistema.

Cuando el sistema no ha dado ningún error se procede a ingresar el módulo de comunicación RS485. Entonces en la parte izquierda de la pantalla se ingresa a módulo de comunicación → punto a punto → CM1241 RS 422/485 → 6ES7241-1CH32-0XB0



Incorporación del módulo de comunicación al PLC.



Para verificar que se ha cargado correctamente se ingresa a PLC → Módulos locales → CM 1241, se puede observar que se ha ingresado un módulo de comunicación, cabe mencionar en el momento que se sube el programa estos dos parámetros se colocan en color verde (está en funcionamiento correcto).

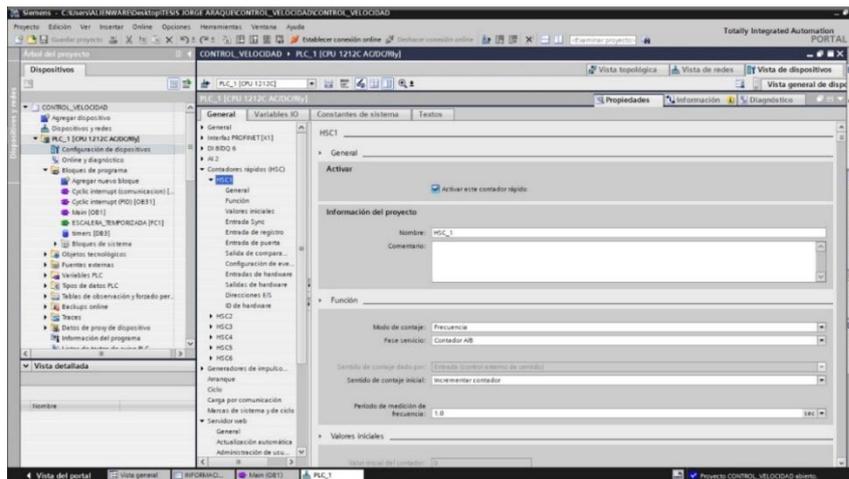


Configuración del encoder

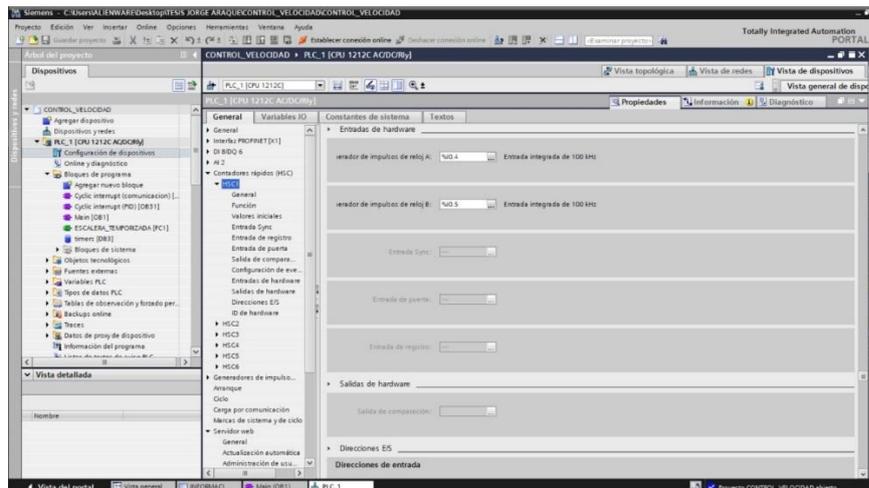
Activación del contador rápido:

- **Modo conteo:** Frecuencia.
- **Fase servicio:** Contador A/B.

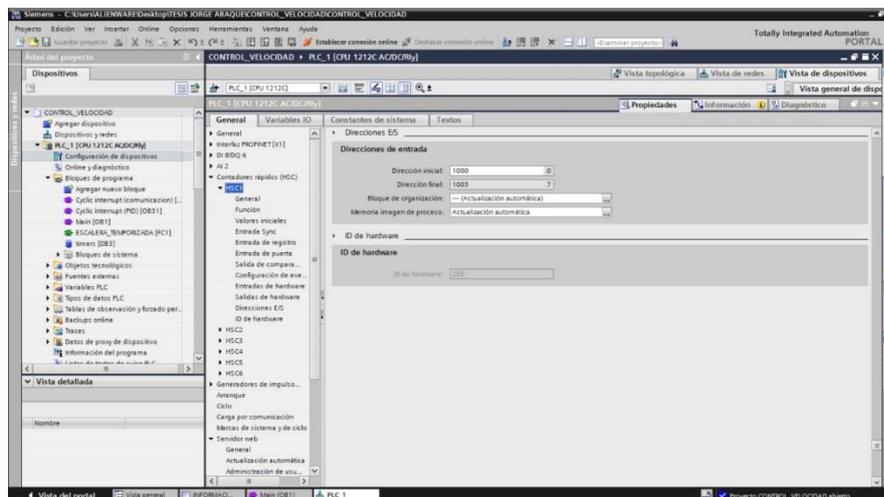
Las demás configuraciones por default.



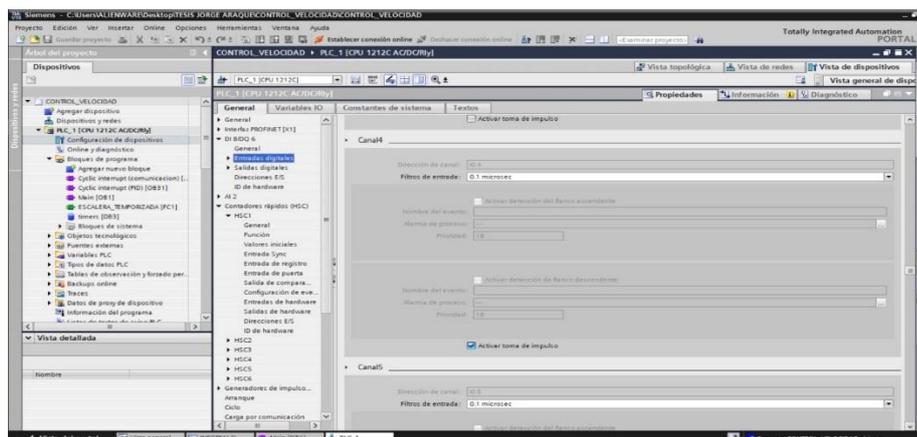
Seleccionamos dos entradas en este caso tenemos I0.4 y la I0.5.



En esta pantalla automáticamente el contador rápido uso un espacio de memoria el link (1000) inicialmente a la dirección (1003) como dirección final.



Configuración de puerto de entrada rápida con la menor frecuencia para mayor sensibilidad.

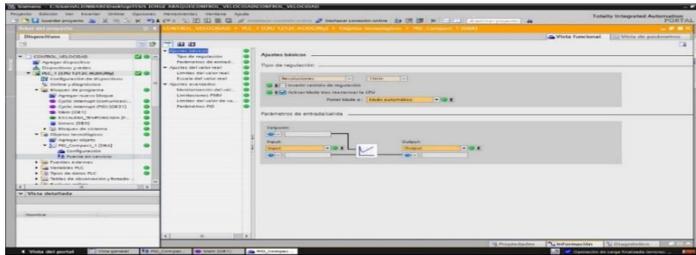


La ventana contiene los parámetros de ajuste básico del tipo de regulación que se debe configurar:

- **Revoluciones:** 1/min.

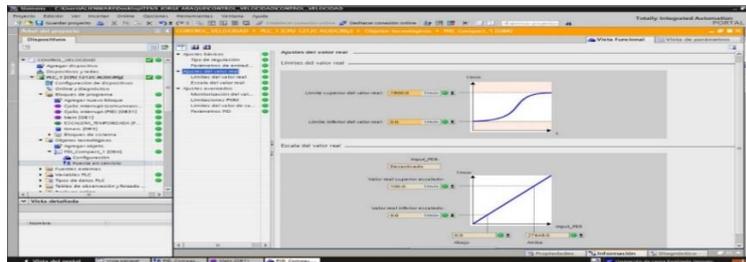
Activar modo re arrancar el CPU.

- **Modo:** Automático.
- **Parámetros de entrada/ salida set point:** Input-Output



La ventana contiene los parámetros de ajuste de valores reales que se debe configurar:

- **Límites del valor real:** 1/min. **Escala del valor real:** 1/min.
- **Límite superior:** 1900.0 [1/min] **Valor real superior:** 100.0 [1/min]
- **Límite inferior:** 0.0 [1/min] **Valor real inferior:** 0.0 [1/min]



La ventana contiene los parámetros de ajustes avanzados que se debe configurar:

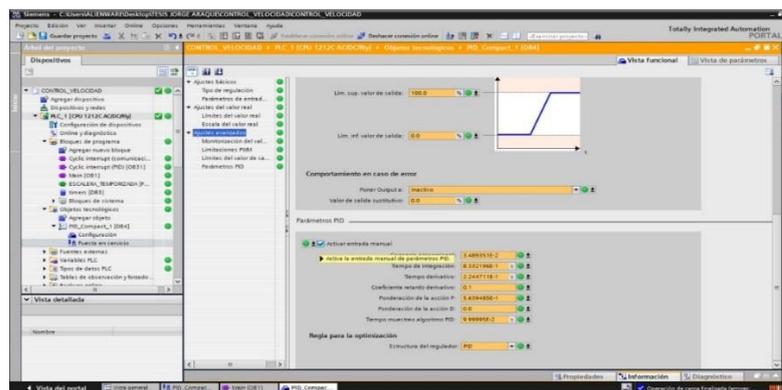
- **Límite. Superior Valor de salida:** 100.0%
- **Límite. Inferior Valor de salida:** 0.0%

Comportamiento en caso de error

- **Output:** Inactivo
- **Valor de salida sustitutivo:** 0.0

Activación de entrada manual PID:

Descripción	Valor
Comunicación	3.489351E-2
Tiempo de integración	8.332196E-1
Tiempo derivativo	2.244711E-1
Coefficiente retardado derivativo	0.1
Ponderación de la acción P	5.639485E-1
Ponderación de la acción D	0.0
Ponderación de la acción PID	0.99995E-2



Puesta en servicio

Se establece mediante la medición:

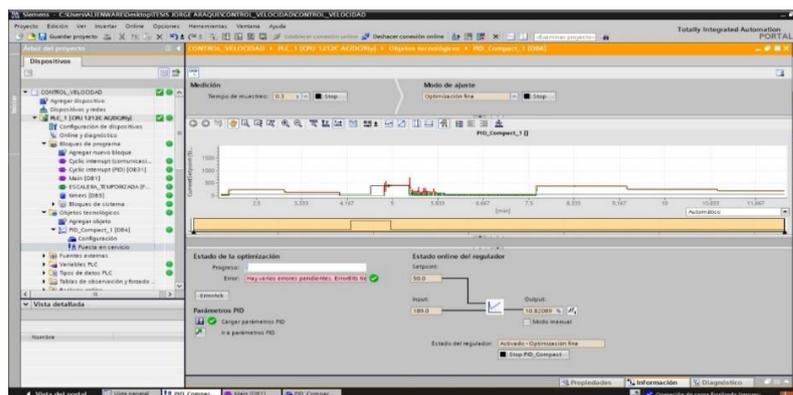
- **Tiempo de muestreo: 0.3 - Modo de ajuste: Optimización fina.**

Estado de optimización:

- **Progreso: Desarrollo del PID - Error: En caso de errores pendientes.**

Parámetros PID:

- Cargar parámetros PID - Ir a parámetros PID



FLUJO DE PANTALLAS



VISUALIZACIÓN DE PORTADA

- **Pantalla lazo abierto:** Apertura a la pantalla de lazo abierto.
- **Pantalla lazo cerrado:** Apertura a la pantalla de lazo cerrado.
- **Información:** Apertura de la pantalla de informativo.
- **Motor:** El motor arranca desde el pulsador rojo del módulo físico del PLC.
- **Indicador:** Blanco motor apagado/color verde motor en funcionamiento.



VENTANA DE LAZO ABIERTO

- **Set Point:** Es un cuadro de texto que permite ingresar el valor de la velocidad que se desea que gire el motor.
- **Encoder:** es un cuadro de texto que permite el valor que mide el encoder.
- **Marcha:** Activa el variador ON/ OFF.
- **Freno:** Paro lento para el motor.
- **Paro de emergencia:** En el caso de problemas mecánicos del motor, etc.
- **Rampa:** El selector activa una rampa de tiempos ajustable de 2 segundos, se aumenta de 10 en 10 segundos el porcentaje de solicitud de velocidad.
- **Gráficas:** Apertura a la visualización de las gráficas.
- **Home:** Regresa al inicio de la pantalla del panel.



VENTANA DE LAZO CERRADO:

- **Set Point:** Permite ingresar el valor de la velocidad a la que se desea que vaya el motor como entrada.
- **Encoder:** Es el valor que mide el encoder.
- **Marcha:** Activa el variador ON/ OFF.
- **Freno:** Freno lento para el motor.
- **Paro de emergencia:** En el caso de problemas mecánicos del motor, de igual forma funciona el botón físico de emergencia del módulo del PLC
- **Gráficas:** Apertura a la visualización de las gráficas.
- **Home:** Regresa al inicio de la pantalla del panel.



AJUSTES PID

- Ajuste de valor de ganancia (K_P)
- Ajuste de tiempo integral (T_I)
- Ajuste de tiempo derivativo (T_D)

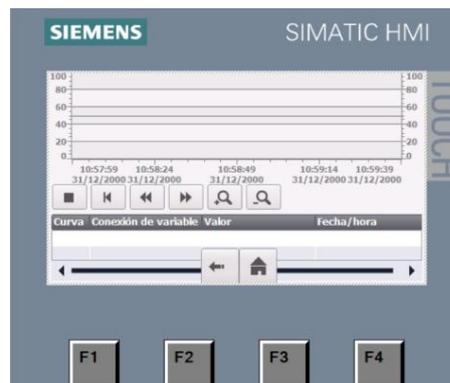
Informativo de la ecuación PID que se está aplicando.



VENTANA DE GRÁFICAS

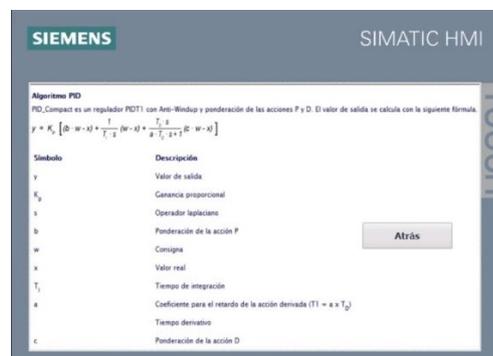
La pantalla de gráficas se visualiza la proyección de las curvas además consta de las siguientes opciones:

- **Home:** Retorno a la ventana anterior
- **Herramientas:** Acercar, alejar, desplazar a la curva.



VENTANA DE INFORMATIVO

En la siguiente ventana se puede visualizar el algoritmo matemático utilizada con sus respectivos símbolos y descripción.



Algoritmo PID
PID Compact es un regulador PID con Anti-Windup y ponderación de las acciones P y D. El valor de salida se calcula con la siguiente fórmula:

$$y = K_p \left[b \cdot w + \frac{1}{T_i} \int w \cdot dt + \frac{T_d}{a} \cdot \frac{dw}{dt} \right]$$

Símbolo	Descripción
y	Valor de salida
K_p	Ganancia proporcional
s	Operador laplaciano
b	Ponderación de la acción P
w	Consigna
x	Valor real
T_i	Tiempo de integración
a	Coefficiente para el retardo de la acción derivada ($T_i = a \cdot T_d$)
	Tiempo derivativo
c	Ponderación de la acción D

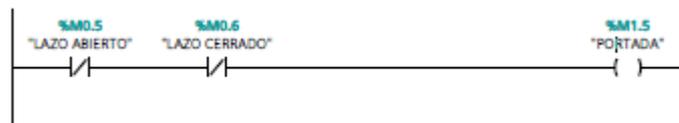
Atrás

DIAGRAMA LADDER



DISEÑO DE LÓGICA DE OPERACIÓN

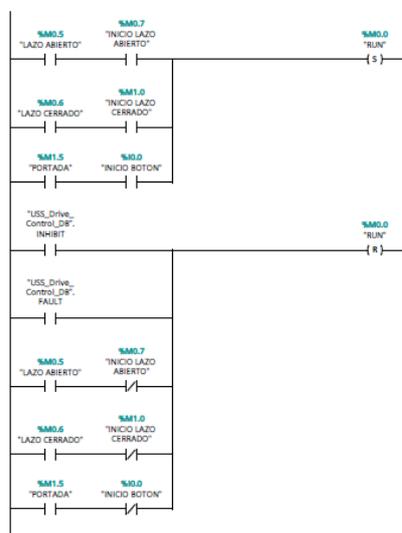
Condición si no se encuentra en lazo abierto o en lazo cerrado se activa la memoria que está en la portada. Se activa cuando entra a la pantalla de lazo abierto y se abre el contacto normalmente cerrado, se apaga la marca de portada.



Activación del variador

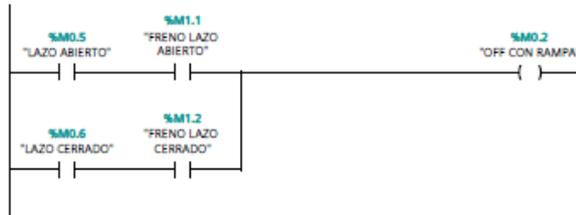
Activación de la marca RUN de la habilitación del variador atada a la marca real (I0.0), permite que cada vez que se pulse un botón de inicio o que este en 1 dependiendo de la pestaña se activara la marca RUN para que se encienda el variador.

- **Marca (S):** Activa, fija.
- **Marca (R):** Desactiva, resetea.
- **INHIBIT Y FAULT:** Indica si se encuentra desactivado por pulso de freno, paro de emergencia o error.

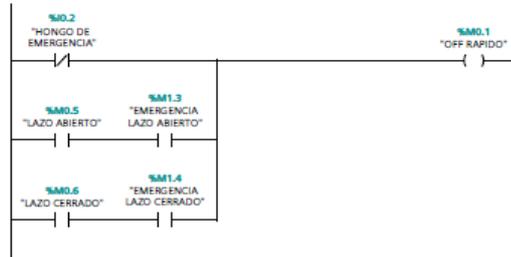




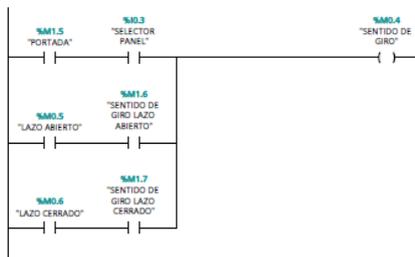
Frenado: Este segmento funciona mediante una memoria normal cuando se presiona funciona cuando no se presiona no funciona.



Paro de emergencia: Se encuentra conectado directamente (contacto normalmente cerrado I0.2), detiene inmediatamente el motor, se restablecer.



Sentido de giro: Este segmento determina el sentido de giro del motor mediante el selector de panel del PLC (I0.3 selector panel). Además de marcas atadas a la pantalla.



Levantamiento de alarmas: Mediante su activación se levanta la alarma desde cualquier control lazo abierto o cerrado.

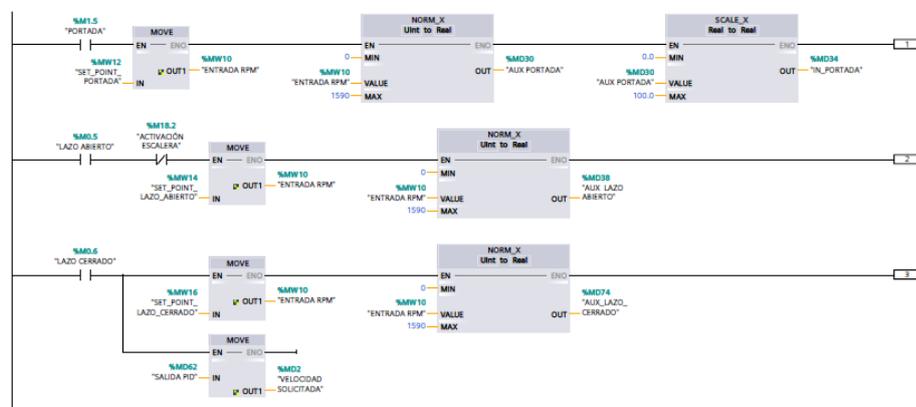


DISEÑO DE LÓGICA DE PROGRAMACIÓN

Manejo de set point

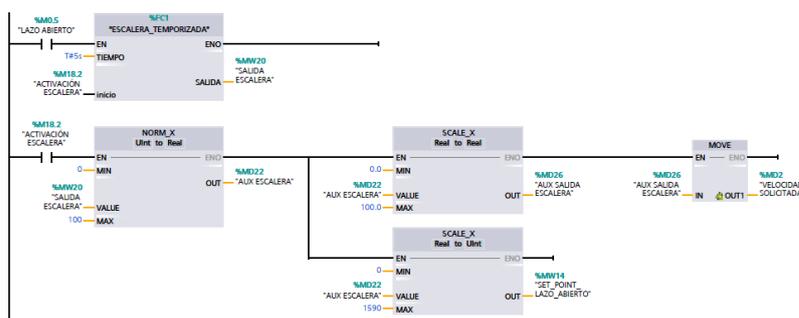
En portada el manejo de set point es de forma directa, el set point entra desde el HMI y se dirige directamente al controlador para establecer una velocidad referencial mediante el pulso del botón RUN del panel. Cuando se está en la portada el motor se mueve de acuerdo a lo que se está solicitando, se usan tres funciones:

- **MOVE:** Mueve un valor de una variable a otra variable.
- **NORM X:** Normaliza cualquier valor entre el valor mínimo y el valor máximo esta función lee la variable de entrada y a los rangos establecidos les convierte a números reales entre 0 a 1.
- **SCALE X:** Multiplica el valor de 0 a 1 a una escala definida de límite superior y límite superior.
- **SCALE X /NORM X:** Convierte de un tipo de dato a otro tipo de dato conversión o regla de tres, multiplica el valor de 0 a 1 a una escala que se define de límite inferior y límite superior.
- **AUX:** Variable necesaria para realizar la conversión.



Escalera de tiempos

Función especial creada de acuerdo a los temporizadores, cada cierto tiempo se aumenta las revoluciones por minuto de la solicitud del porcentaje de salida del variador. Estos valores se escalan para ser visualizados mediante los indicadores.

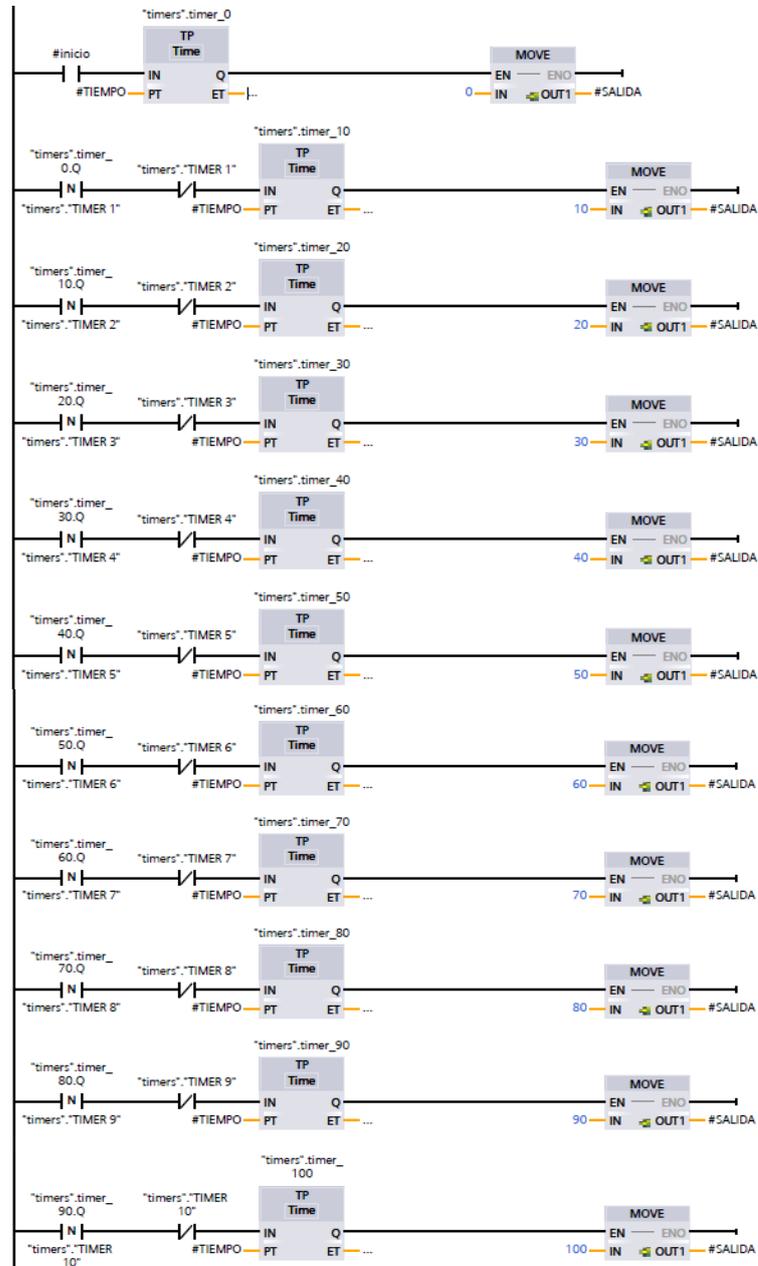


Escalera temporizada

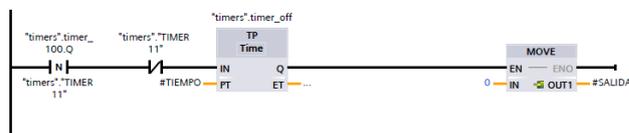
Activación de un TP (Tiempo de Pulso) de n segundos con un set point de 0%.

Cuando baja el tiempo de pulso el contacto (N) lee el flanco de bajada del tiempo de pulso y activa al temporizador que continua que cambiar el valor del set point de 10% sucesivamente hasta llegar al 100%.

El último segmento envía de regreso a cero con la finalidad de que no se quede encendido.



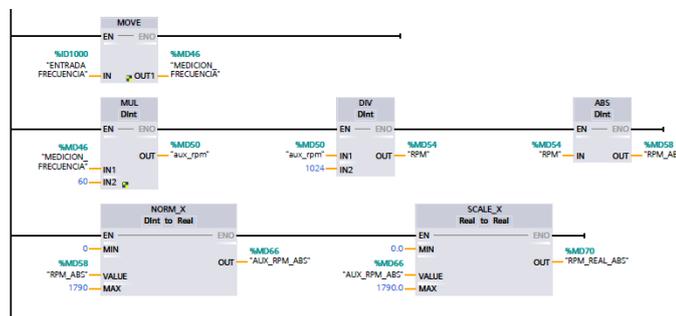
Segmento 2:



Lectura de encoder

Mediante la configuración en la Id 1000 del contactor rápido, este tiene una ecuación para que el contactor pueda realizar las operaciones mediante las siguientes funciones de operación matemática.

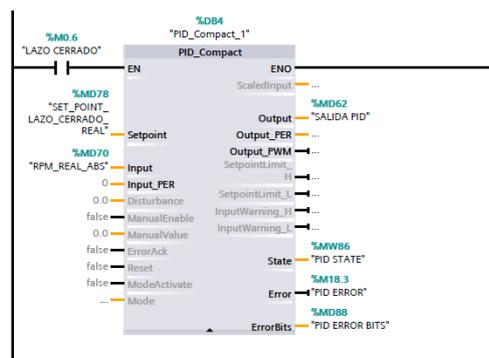
- **ABS:** Determina el valor absoluto.
- **MUL:** Multiplica el valor.
- **DIV:** Divide el valor.



Control PID

El bloque PID realiza el algoritmo PID mediante ecuación, como entrada tiene un set point y un valor de lectura de medición en rpms, las salidas output de 0-100% el cual activa al variador de acuerdo a la necesidad en el set point y la medición sean iguales.

- **Entradas en rpm de:** 0-1590
- **Salida de:** 0-100%



MANUAL DEL FABRICANTE



DRW171369AA

Autonics
ROTARY ENCODER (INCREMENTAL TYPE)
E50S SERIES
INSTRUCTION MANUAL



Thank you for choosing our Autonics product.
Please read the following safety considerations before use.

■ Safety Considerations

⊗ Please observe all safety considerations for safe and proper product operation to avoid hazards.

⊗ ⚠ symbol represents caution due to special circumstances in which hazards may occur.

⚠ Warning Failure to follow these instructions may result in serious injury or death.

⚠ Caution Failure to follow these instructions may result in personal injury or product damage.

⚠ Warning

1. Fail-safe device must be installed when using the unit with machinery that may cause serious injury or substantial economic loss. (e.g. nuclear power control, medical equipment, ships, vehicles, railways, aircraft, combustion apparatus, safety equipment, crime/disaster prevention devices, etc.)

2. Failure to follow this instruction may result in fire, personal injury, or economic loss.

3. Failure to follow this instruction may result in fire.

4. Do not connect, repair, or inspect the unit while connected to a power source.

5. Failure to follow this instruction may result in fire.

6. Check 'Connections' before wiring.

7. Failure to follow this instruction may result in fire.

8. Do not disassemble or modify the unit.

9. Failure to follow this instruction may result in fire.

⚠ Caution

1. Use the unit within the rated specifications.

2. Failure to follow this instruction may result in fire or product damage.

3. Do not short the load.

4. Failure to follow this instruction may result in product damage by fire.

5. Do not use the unit in the place where flammable/explosive/corrosive gas, humidity, direct sunlight, radiant heat, vibration, impact, or salinity may be present.

6. Failure to follow this instruction may result in fire or explosion.

7. Do not use the unit near the place where there is the equipment which generates strong magnetic force or high frequency noise and strong alkaline, strong acidic exists.

8. Failure to follow this instruction may result in product damage.

■ Ordering Information

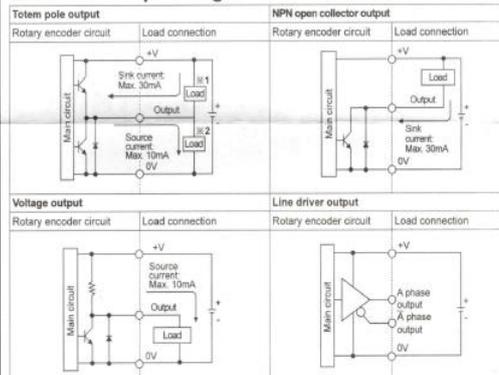
E50S 8 8000 3 N 24

Series	Shaft diameter	Pulses/revolution	Output phase	Control output	Power supply	Cable
Diameter Ø50mm, shaft type	Ø8mm	Refer to resolution	2: A, B 3: A, B, Z 4: A, A, B, B 6: A, A, B, B, Z	T: Totem pole output N: NPN open collector output V: Voltage output L: Line driver output	5: 5VDC±5% 24: 12-24VDC ±5%	No mark: Axial cable type C: Axial cable connector type (K) CR: Axial connector type CS: Radial connector type

⊗ Standard: E50S8-PULSE-3-N-24

⊗ Cable length: 250mm

■ Control Output Diagram



⊗ All output circuits of A, B, Z phase are the same. (Line driver output is A, A, B, B, Z, Z)

⊗ Totem pole output type can be used for NPN open collector type (X1) or voltage output type (X2).

⊗ The above specifications are subject to change and some models may be discontinued without notice.

■ Connections

■ Axial cable type

- Totem pole output
- NPN open collector output
- Voltage output



■ Line driver output



- ⊗ Unused wires must be insulated.
- ⊗ The metal case and shield cable of encoder should be grounded (F.G.)
- ⊗ Do not apply tensile strength over 30N to the cable.

■ Axial cable connector type/ Axial/Radial connector type

- Totem pole output
- NPN open collector output
- Voltage output
- Line driver output

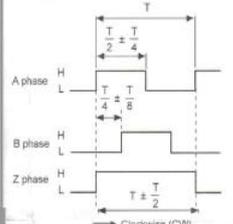


Pin No.	Function	Cable color	Pin No.	Function	Cable color
1	OUT A	Black	1	OUT A	Black
2	OUT B	White	2	OUT A	Red
3	OUT Z	Orange	3	+V	Brown
4	+V	Brown	4	GND	Blue
5	GND	Blue	5	OUT B	White
6	F.G.	Shield	6	OUT B	Gray
			7	OUT Z	Orange
			8	OUT Z	Yellow
			9	F.G.	Shield

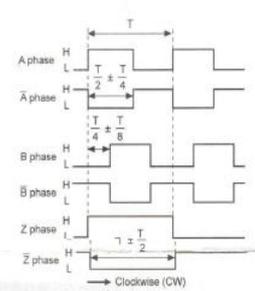
⊗ F.G. (Field Ground): It should be grounded separately.

■ Output Waveforms

- Totem pole output/ NPN open collector output/ Voltage output



- Line driver output



■ Cautions during Use

- Follow instructions in 'Cautions during Use'. Otherwise, It may cause unexpected accidents.
- 5VDC, 12-24VDC power supply should be insulated and limited voltage/current or Class 2, SELV power supply device.
- For using the unit with the equipment which generates noise (switching regulator, inverter, servo motor, etc.), ground the shield wire to the F.G. terminal.
- Ground the shield wire to the F.G. terminal.
- When using switching mode power supply, frame ground (F.G.) terminal of power supply should be grounded.
- Wire as short as possible and keep away from high voltage lines or power lines, to prevent inductive noise.
- For Line driver unit, use the twisted pair wire which is attached seal and use the receiver for RS-422A communication.
- Check the wire type and response frequency when extending wire because of distortion of waveform or residual voltage increment etc by line resistance or capacity between lines.
- This unit may be used in the following environments.
 - ⊙ Indoors (in the environment condition rated in 'Specifications')
 - ⊙ Altitude max. 2,000m
 - ⊙ Pollution degree 2
 - ⊙ Installation category II

■ Major Products

- Photoelectric Sensors
- Fiber Optic Sensors
- Door Sensors
- Door Side Sensors
- Area Sensors
- Proximity Sensors
- Pressure Sensors
- Rotary Encoders
- Connector/Sockets
- Switching Mode Power Supplies
- Control Switches/Lamps/Buzzers
- I/O Terminal Blocks & Cables
- Stepper Motor/Drivers/Motion Controllers
- Graphic/Logic Panels
- Field Network Devices
- Laser Marking System (Fiber, CO₂, Nd: YAG)
- Laser Welding/Cutting System
- Temperature Controllers
- Temperature/Humidity Transducers
- SSRs/Power Controllers
- Counters
- Timers
- Panel Meters
- Tachometer/Pulse (Rate) Meters
- Display Units
- Sensor Controllers

Autonics Corporation
http://www.autonics.com

■ HEADQUARTERS:
15, Baeon-gil, 513 beon-gil, Haeundae-gu, Busan, South Korea, 60502
TEL: 82-51-519-3232
E-mail: sales@autonics.com

DRW171369AA

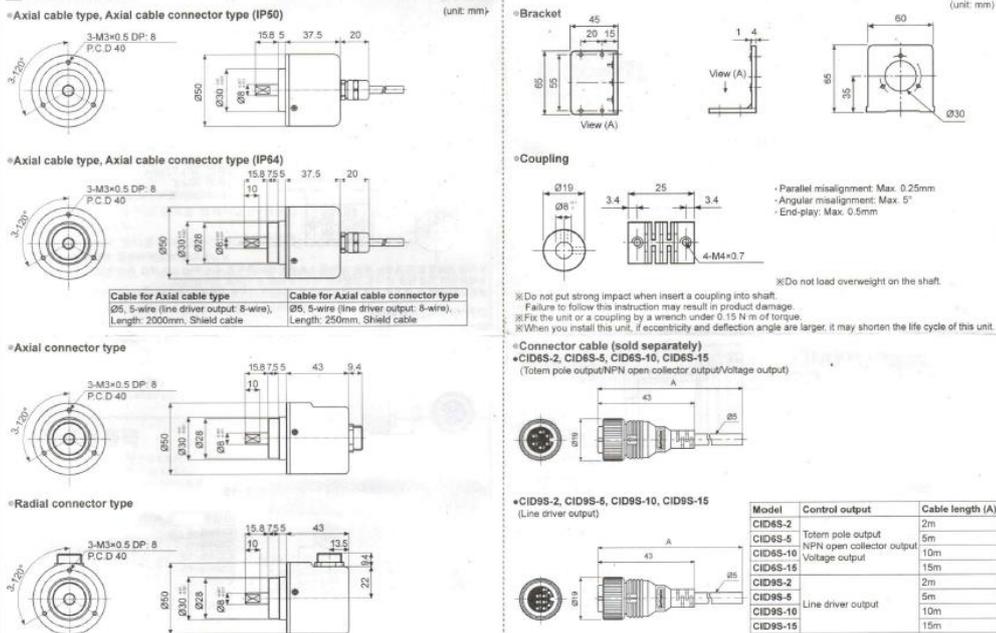


Specifications

Item	Diameter Ø50mm shaft type of incremental rotary encoder	
Model	Totem pole output: E50S8- <input type="checkbox"/> 3-T- <input type="checkbox"/> NPN open collector output: E50S8- <input type="checkbox"/> 3-N- <input type="checkbox"/> Voltage output: E50S8- <input type="checkbox"/> 3-V- <input type="checkbox"/> Line driver output: E50S8- <input type="checkbox"/> 6-L- <input type="checkbox"/>	
Resolution (PPR) ¹⁾	*1: *2 *5, 10, 12, 15, 20, 23, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 75, 100, 120, 125, 150, 192, 200, 240, 250, 256, 300, 360, 400, 500, 512, 600, 800, 1000, 1024, 1200, 1500, 1800, 2000 2048, 2500, 3000, 3600, 4000, 5000, 6000, 8000	
Output phase	A, B, Z phase (Line driver output: A, A, B, B, Z, Z phase)	
Phase difference of output	Output between A and B phase: $\frac{T}{4} \pm \frac{T}{8}$ (T=1 cycle of A phase)	
Electrical specification	Control output	
	Totem pole output	<ul style="list-style-type: none"> [Low] - Load current: Max. 30mA, Residual voltage: Max. 0.4VDC= [High] - Load current: Max. 10mA, Output voltage (power voltage 5VDC=): Min. (power voltage-2.0)VDC=, Output voltage (power voltage 12-24VDC=): Min. (power voltage-3.0)VDC=
	NPN open collector output	Load current: Max. 30mA, Residual voltage: Max. 0.4VDC=
	Voltage output	Load current: Max. 10mA, Residual voltage: Max. 0.4VDC=
	Line driver output	<ul style="list-style-type: none"> [Low] - Load current: Max. 20mA, Residual voltage: Max. 0.5VDC= [High] - Load current: Max. -20mA, Output voltage (power voltage 5VDC=): Min. 2.5VDC=, Output voltage (power voltage 12-24VDC=): Min. (power voltage-3.0)VDC=
Response time (rise/fall)	Totem pole output	Max. 1µs (cable length: 2m, I sink=20mA)
	NPN open collector output	Max. 1µs (cable length: 2m, I sink=20mA)
	Voltage output	Max. 0.5µs (cable length: 2m, I sink=20mA)
	Line driver output	Max. 0.5µs (cable length: 2m, I sink=20mA)
Max. Response frequency	300kHz	
Power supply	<ul style="list-style-type: none"> 5VDC= ±5% (ripple P-P: Max. 5%) 12-24VDC= ±5% (ripple P-P: Max. 5%) 	
Current consumption	Max. 80mA (disconnection of the lead), Line driver output: Max. 50mA (disconnection of the load)	
Insulation resistance	Over: 100MΩ (at 500VDC megger between all terminals and case)	
Dielectric strength	750VAC 50/60Hz for 1 minute (between all terminals and case)	
Connection	Axial cable type, Axial cable connector type, Axial/Radial connector type	
Mechanical specification	Starting torque	Max. 70gf-cm (0.007N·m) ²⁾ , Max. 800gf-cm (0.078N·m) ³⁾
	Moment of inertia	Max. 80g·cm ² (8×10 ⁻⁶ kg·m ²) ²⁾ , Max. 400g·cm ² (4×10 ⁻⁶ kg·m ²) ³⁾
	Shaft loading	Radial: Max. 10kgf, Thrust: Max. 2.5kgf
	Max. allowable revolution ⁴⁾	6,000rpm
Vibration	1.5mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz in each X, Y, Z direction for 2 hours	
Shock	Approx. Max. 75G	
Environment	Ambient temperature	-10 to 70°C, Storage: -25 to 85°C
	Ambient humidity	35 to 85% RH, Storage: 35 to 90%RH
Protection structure	Axial cable type, Axial cable connector type: IP50 (IEC standards) ⁵⁾ , Axial/Radial connector type: IP65 (IEC standards)	
Cable	Ø5mm, 5-wire, Length: 2m, Shield cable (line driver output: Ø5mm, 8-wire) (AWG 24, Core diameter: 0.08mm, Number of cores: 40, Insulator diameter: Ø1mm)	
Accessory	Ø8mm coupling, Bracket	
Approval	CE (except line driver output)	
Weight ⁶⁾	Approx. 363g (approx. 275g), Axial/Radial connector type: Approx. 268g (approx. 180g)	

- ※1: ** pulse is only for A, B phase. (but Line driver output: A, A, B, B phase) Not indicated resolutions are customizable.
 ※2: This value is for Axial cable type, Axial cable connector type (protection structure: IP50).
 ※3: This value is for Axial cable type, Axial cable connector type (protection structure: IP64), Axial/Radial connector type (protection structure: IP65).
 ※4: Make sure that Max. response revolution should be lower than or equal to max. allowable revolution when selecting the resolution.
 [Max. response revolution (rpm) = $\frac{\text{Max. response frequency}}{\text{Resolution}} \times 60 \text{ sec}$]
 ※5: In case of axial cable type, axial cable connector type, they are available to order the option protection structure IP54.
 ※6: The weight includes packaging. The weight in parentheses is for unit only.
 ※7: Environment resistance is rated at no freezing or condensation.

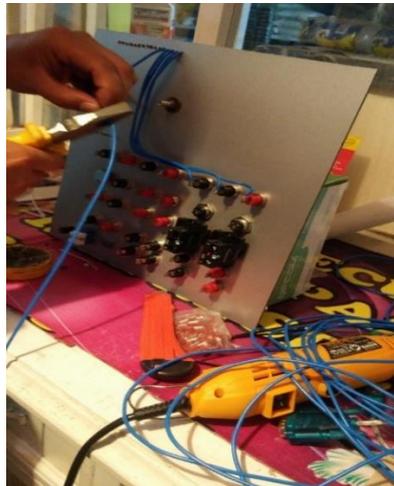
Dimensions



FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO



Construcción del sistema de poleas



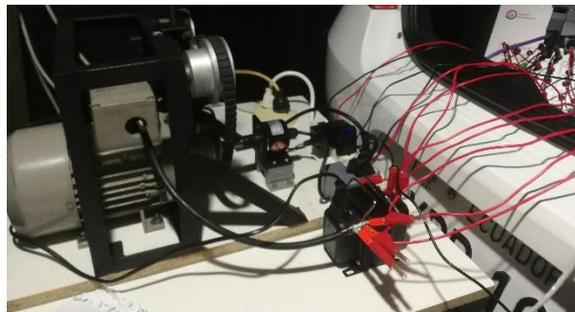
Módulo del controlador PLC



Módulo del HMI



Pruebas de configuración de comunicación de equipos



Pruebas de conexión con implemento de sistema de perturbación



Pruebas de interfaz monitor y controlador

MANUAL DE USUARIO



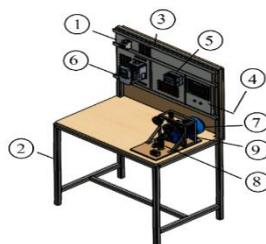
MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN
JAULA DE ARDILLA

ESPECIFICACIONES GENERALES

Motor: AC DE INDUCCIÓN- JAULA DE ARDILLA- TRIFÁSICO
Controladores: S7-1200 AC/DC RELAY - MICROMASTER MM440
Retroalimentación: ENCODER INCREMENTAL
Monitoreo e interfaz: Panel KTP 400
Comunicación: USS

PARTES DE LA MESA DIDÁCTICA DE CONTROL DE MOTOR AC

1. Fuente 110 V y 220 V
2. Estructura de la mesa didáctica
3. Perfil riel de los módulos
4. Módulo pantalla HMI 400
5. PLC S7 1200 AC/DC RELAY
6. MICROMASTER MM 440
7. Motor asincrónico 1 HP - 1590 rpm
8. Encoder incremental
9. Sistema de poleas para frenar el motor



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MOTORES A CONTROLAR

Potencia: 0.75 HP **Conexión:** YY – Y **Líneas:** Trifásico R,S,T
Frecuencia: 60 HZ **Tensión:** 220V- 440V **Revolución por minuto:** 1900 rpm
Corriente: 1.9 A **Factor de potencia:** $\cos \varphi$ 0,81

FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Equipo	Alimentación	Conexión
Motor jaula de ardilla 0.75 HP	220 [V] AC	Conexión: YY
Variador de frecuencia MM440	220 [V] AC	
Controlador PLC S7-1200 AC/DC	110 [V] AC	
Pantalla Touch KTP 400	24 [V] DC	
Encoder E50S8-1024-3-T-24	24 [V] DC	

CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN

CONEXIÓN DE ALIMENTACIÓN DEL PLC

La alimentación de **L1** y **N** a 110[V] AC

CONEXIÓN DE ALIMENTACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Alimentación **L1-L2-L3** (Tres líneas) 220[V] AC

Alimentación **L1-L2** (Dos líneas) 220[V] AC

CONEXIÓN DE ALIMENTACIÓN DEL ENCODER

Alimentación del PLC S7 1200 AC/DC **L+** y **M** a 24[V] DC a los puertos **V+** y **V0** del ENCODER

CONEXIÓN DE ALIMENTACIÓN DEL HMI

Alimentación del PLC S7 1200 AC/DC **L+** y **M** a 24[V] DC a los puertos **L+** y **M** del HMI



CONEXIONES DE COMUNICACIÓN Y SEÑALES

CONEXIÓN USS PLC - VARIADOR DE FRECUENCIA

Cable PROFIBUS

Conector de PROFIBUS ON/ OFF = **ON** transferir datos

Del puerto módulo de expansión PLC comunicación puerto RS422/ RS485 - a los puertos del Micromaster MM440

Puerto a utilizar Micromaster MM440

Puerto N° 29 **HILO ROJO** y puerto N° 30 **HILO VERDE**

CONEXIÓN DE SALIDAS PLC - ENCODER

ENTRADAS PLC

I0.4

<=>

I0.5

<=>

SALIDAS (CANALES DEL ENCODER)

OUT A

OUT B

CONEXIÓN PLC - HMI

Del puerto ETHERNET de PLC S7-1200 AC/DC - al puerto ETHERNET pantalla HMI KTP 400

CONEXIÓN DE FUERZA - MOTOR

Alimentación desde los puertos **U1-V1-W1** del Micromaster MM440 a la alimentación **U1-V1-W1** del motor jaula de ardilla de 0.75HP. A 220[V] AC

CONTROL DE MONITOR



CONTROL DE MANDOS

MARCHA: Activa el variador de frecuencia

FRENO: Frena suavemente el motor de inducción

EMERGENCIA: Detiene instantánea el motor de inducción

RAMPA: Activa la función escalón automática de frecuencia

SENTIDO DE GIRO: Sentido de giro del motor horario/ antihorario





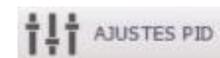
Valor en (rpms) que se desea controlar



Valor que alcanza el set point según el lazo de control



Ajusta los valores PID: KP, TI; TD



Demuestra el algoritmo del PID, símbolos y sus especificaciones



Indicador de alarma en caso de averías mecánicas o fallas eléctricas



Permite visualizar el desarrollo de las curvas set point-encoder.



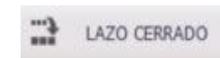
OPERACIÓN LAZO ABIERTO

Ejecuta un control de lazo abierto



OPERACIÓN LAZO CERRADO

Ejecuta un control lazo cerrado con retroalimentación



MEDIDAS DE SEGURIDAD

No sobrepasar los datos técnicos del motor de inducción jaula ardilla

Suministrar el voltaje adecuado en U, V, W trifásico desde el Micromaster MM440

Alimentar adecuadamente los equipos de control PLC S7-1200, Micromaster MM440

Alimentar el encoder y HMI KTP 400 con el voltaje mínimo recomendado

Verificar estado y continuidad de los cables

Utilizar la guía de conexión según el lazo de control

Verificar el levantamiento de alarma del panel HMI KTP 400

Verificar los conectores del encoder a causa de la vibración del motor puede desconectarse

Verificar el calentamiento del motor

En caso de emergencia pulsar el botón de emergencia del panel.

HOJAS GUÍAS



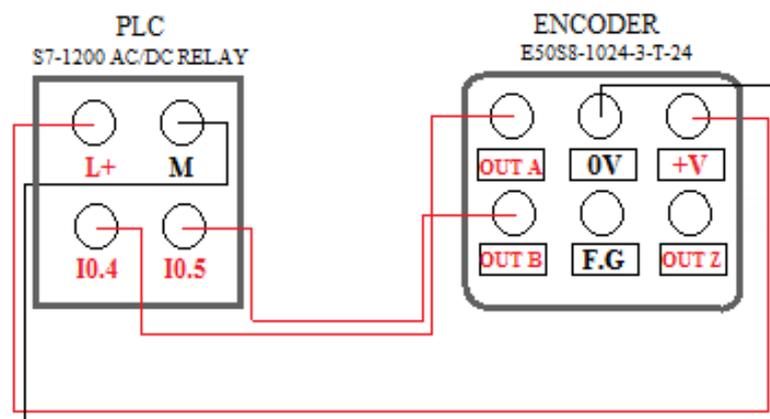
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS



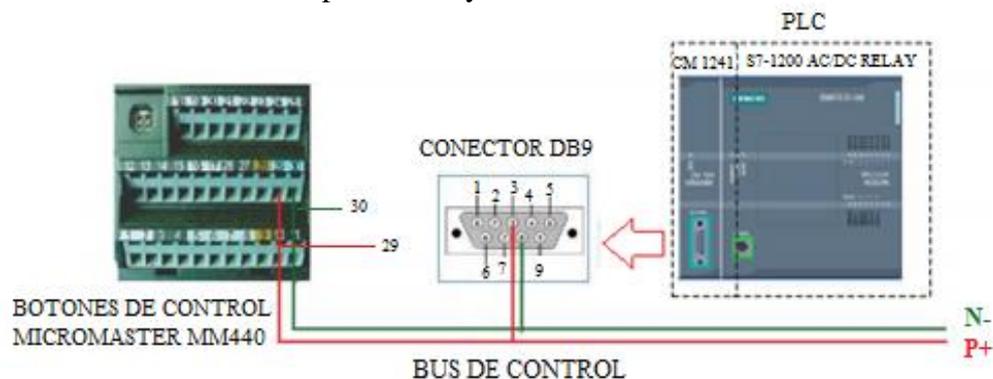
Anexo VII Hoja guía Lazo Abierto		Pag. 1-5	
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	
Jorge Araque	Ing. Paúl Corrales	Ing. Paúl Corrales	
FECHA:	FECHA:	FECHA:	
CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA	
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	IELM	CONTROL INDUSTRIAL	
TEMA:	LABORATORIO:	Nº:	DURACIÓN (HORAS)
CONTROL DE MOTOR DE INDUCCIÓN EN LAZO ABIERTO	ELECTROMECAÁNICA	1	1
OBJETIVO			
Control en lazo abierto y función escalón de velocidad de un motor de inducción, mediante el ingreso de set point en los controladores, para obtener resultados y análisis de su comportamiento.			
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA			
<p>Sistema de control de lazo abierto: No existe efecto sobre la acción de control, en el sistema en lazo abierto la salida no es igual a la entrada de referencia.</p> <p>Controlador PID: Un controlador PID es un regulador realimentado y continuo la operación integral que efectúa la anulación del error.</p> <p>Controlador lógico programable (PLC): Realiza el proceso de distintos programas mediante operaciones, funcionalidades para controlar y regular procesos</p> <p>Pantalla HMI KTP 400 Basic: Los dispositivos HMI son paneles de visualización que permite monitorear un proceso.</p> <p>Variador de Frecuencia: Varía la velocidad mediante frecuencia de un motor de inducción asincrónico.</p> <p>Encoder incremental: Compuesto de una salida en forma de pulsos obtiene mediante la acumulación de los pulsos de salida, consta de tres canales A, B y Z</p>			

2.4 PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN

1. Energizar la fuente del módulo de la mesa didáctica desde la toma principal trifásica
2. Energizar el PLC desde la fuente **L1** N a 110 [V].
3. Puentear los puertos del PLC **L+** y **M** de 24 [V].
4. Energizar el ENCODER **V+** y **V0** desde el PLC a 24 [V].
5. Energizar canales del ENCODER **OUT A** y **OUT B** al PLC **I0.4** y **I0.5**



6. Energizar el HMI **L+** y **M** desde el PLC **L+** y **M** a 24 [V].
7. Conectar puerto ETHERNET del PLC al ETHERNET del HMI
8. Energizar el VARIADOR desde la fuente principal **L1 L2 L3** a 220 [V].
9. Alimentar desde las salidas del VARIADOR **U1 V1 W1** al MOTOR **U2 V2 W2** 24 [V].
10. Regular las resistencias del conector RS 485 ON/ OFF
11. Conectar el bus de comunicación USS mediante el cable PROFIBUS del puerto del módulo RS 485 a los puertos 29 y 30 del Micromaster MM440.





2.5 PROCEDIMIENTO DE CONTROL FUNCIÓN RAMPA AL VACÍO

1. Pantalla principal
2. Ir a la opción lazo abierto
3. Desactivar **FRENO** y **EMERGENCIA** (indicadores deben estar sin sombra)
4. Ingresar el SET POINT deseado
5. Activar el controlador módulo físico del PLC (**PULSADOR DE MARCHA**)
6. Activar el variador BOTÓN (**MARCHA**)
7. Activar función RAMPA (**TRIÁNGULO ROJO**)
8. Verificación SET POINT VS ENCODER
9. Ir a la opción gráfica
10. Regresar HOME
11. Invertir giro HORARIO/ ANTIHORARIO
12. Paro automático después que alcanza el SET POINT máximo (en el caso de activación RAMPA)
13. Detener el proceso BOTÓN (**FRENO**) Restablecer el proceso pulsar BOTÓN (**FRENO**)
14. Usar solo en caso de emergencia BOTÓN (**EMERGENCIA**) o botón físico del PLC.

2.6 PROCEDIMIENTO DE CONTROL CON CARGA

1. Pantalla principal
2. Ir a la opción lazo abierto
3. Desactivar **FRENO** y **EMERGENCIA** (indicadores deben estar sin sombra)
4. Ingresar el SET POINT deseado
5. Activar el controlador módulo físico del PLC (**PULSADOR DE MARCHA**)
6. Activar el variador BOTÓN (**MARCHA**)
7. Aplicar carga (ajustar manija)
8. Verificación SET POINT VS ENCODER
9. Ir a la opción gráfica
10. Liberar la carga (Retornar la manija en sentido contrario)
11. Regresar HOME
12. Invertir giro HORARIO/ ANTIHORARIO
13. Detener el proceso BOTÓN (**FRENO**) Restablecer el proceso pulsar BOTÓN (**FRENO**)
14. Usar solo en caso de emergencia BOTÓN (**EMERGENCIA**) o botón físico del PLC.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SET POINT	LECTURA DEL ENCODER		LECTURA DEL VARIADOR		CORRIENTE	
	AL VACÍO	CON CARGA	AL VACÍO	CON CARGA	AL VACÍO	CON CARGA

Describe el funcionamiento del controlador en lazo abierto
Verificar los resultados obtenidos en la práctica y determine una tabla de valores observados.

Según la práctica interpretar las curvas del set point y lectura del encoder

Según la descripción de las curvas cuál es el margen de error en lazo abierto

4 CONCLUSIONES

5 RECOMENDACIONES

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Spartacus, Teoría de Control Diseño Electrónico, Segunda ed., Barcelona: Artympres S.A., 2000.
- [2] F. Morilla, «Controladores PID,» Enero 2007.
- [3] SIMATIC S7 Controlador programable S7 - 1200, Cuarta ed., SIEMENS Manual de sistema, 2012.
- [4] SIMATIC HMI device, KTP 400 Basic, KTP 600 Basic, KTP 1000 Basic, TP 1500 Basic, Octava ed., SIEMENS Operating Instructions, 2008.
- [5] M. Álvarez, Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, Barcelona: MARCOMBO, S.A., 2000.
- [6] F. Reyes, Control de Robots Manipuladores, Primera ed., México: Alfaomega, 2011, p. 592.

7 ANEXOS



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS



Ingeniería
Electromecánica

ANEXO VII HOJA GUÍA LAZO CERRADO		Pag. 1-5	
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	
Jorge Araque	Ing. Paúl Corrales	Ing. Paúl Corrales	
FECHA:	FECHA:	FECHA:	
CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA	
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	IELM	CONTROL INDUSTRIAL	
TEMA:	LABORATORIO:	Nº:	DURACIÓN (HORAS)
CONTROL DE MOTOR DE INDUCCIÓN EN LAZO CERRADO	ELECTROMECAÁNICA	2	1
OBJETIVO			
Control en lazo cerrado de velocidad de un motor de inducción, mediante el ingreso de set point en los controladores, para obtener resultados y análisis de su comportamiento.			
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA			
Sistema de control de lazo cerrado: Es una acción de control llamado así realimentación, mediante la señal controlada y realimentada [1].			
Controlador PID: Un controlador PID es un regulador realimentado la operación proporcional, integral, derivativa. [2].			
Controlador lógico programable (PLC): Realiza el proceso de distintos programas mediante operaciones, funcionalidades para el control [3].			
Pantalla HMI KTP 400 Basic: Los dispositivos HMI son paneles de visualización que permite monitorear un proceso, posee características básicas que se exigen [4].			
Variador de Frecuencia: Varía la velocidad mediante frecuencia de un motor de inducción asincrónico [5].			

2.2 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Motor AC de inducción jaula de ardilla Trifásico

Módulo PLC S7-1200 AC/DC RELAY

Módulo de expansión para comunicación CM 1241 RS422/485

Módulo de pantalla KTP 400 BASIC

Módulo del variador de frecuencia MICROMASTER MM 440

Encoder incremental E50S8-1024-3-T-24

Sistema de poleas para frenar el motor

Cable PROFIBUS y conector PROFIBUS FC-RS 485

Cables de conexión ETHERNET

Cables retráctiles de conexión.

Fuente Trifásica y protección 4A.

Mesa didáctica de perfiles

2.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD

Verificar el aislamiento de cable de conectores Jack banana

Suministrar el voltaje adecuado para cada equipo

Verificar el aislamiento seguro de los puertos de cada uno de los módulos de los equipos

Verificar continuidad de los puertos

Identificar colores de puertos y cables de conexión

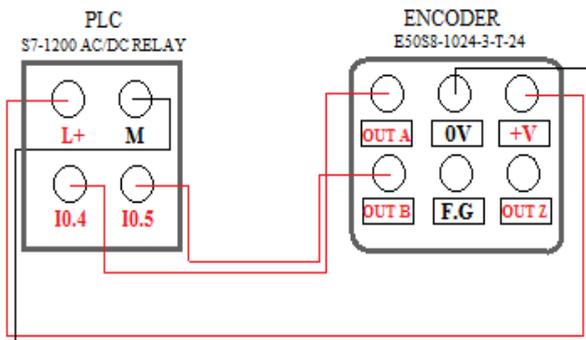
Observar estado de banda de transmisión

Aplicar carga de forma moderada

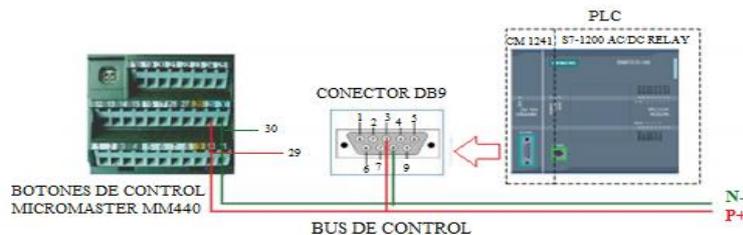
Verificar el calentamiento del motor de inducción

2.4 PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN

1. Energizar la fuente del módulo de la mesa didáctica desde la toma principal trifásica
2. Energizar el PLC desde la fuente **L1 N** a 110 [V].
3. Puentear los puertos del **PLC L+** y **M** de 24 [V].
4. Energizar el ENCODER **V+** y **V0** desde el PLC a 24 [V].
5. Energizar canales del ENCODER **OUT A** y **OUT B** al PLC **I0.4** y **I0.5**



6. Energizar el HMI L+ y M desde el PLC L+ y M a 24 [V].
7. Conectar puerto **ETHERNET** del PLC al **ETHERNET** del HMI
8. Energizar el **VARIADOR** desde la fuente principal **L1 L2 L3** a 220 [V].
9. Alimentar desde las salidas del **VARIADOR U1 V1 W1** al **MOTOR U2 V2 W2** 24 [V].
10. Regular las resistencias del conector RS 485 **ON/ OFF**
11. Conectar el bus de comunicación **USS** mediante el cable **PROFIBUS** del puerto del módulo RS 485 a los puertos **29** y **30** del Micromaster MM440.



2.5 PROCEDIMIENTO DE CONTROL AL VACÍO

1. Pantalla principal
2. Ir a la opción lazo cerrado
3. Desactivar **FRENO** y **EMERGENCIA** (indicadores deben estar sin sombra)
4. Ingresar el **SET POINT** deseado
5. Activar el controlador **módulo físico** del PLC (**PULSADOR DE MARCHA**)
6. Activar el variador BOTÓN (**MARCHA**)
7. Ingresar ajustes PID
8. Resetear PID
9. Regresar HOME
10. Verificación **SET POINT VS ENCODER**
11. Ir a la opción gráfica
12. Regresar HOME
13. Invertir giro HORARIO/ ANTIHORARIO
14. Paro automático después que alcanza el SET POINT máximo (en el caso de activación RAMPA)
15. Detener el proceso BOTÓN (**FRENO**) Restablecer el proceso pulsar BOTÓN (**FRENO**)
16. Usar solo en caso de emergencia BOTÓN (**EMERGENCIA**) o botón físico del PLC.

2.6 PROCEDIMIENTO DE CONTROL CON CARGA

1. Pantalla principal
2. Ir a la opción lazo cerrado
3. Desactivar **FRENO** y **EMERGENCIA** (indicadores deben estar sin sombra)
4. Ingresar el **SET POINT** deseado
5. Activar el controlador **módulo físico** del PLC (**PULSADOR DE MARCHA**)
6. Activar el variador BOTÓN (**MARCHA**)
7. Ingresar ajustes PID
8. Resetear PID
9. Regresar HOME
10. Aplicar carga (ajustar manija)
11. Verificación **SET POINT VS ENCODER**
12. Ir a la opción gráfica
13. Liberar la carga (Retornar la manija en sentido contrario)
14. Regresar HOME
15. Invertir giro HORARIO/ ANTIHORARIO
16. Detener el proceso BOTÓN (**FRENO**) Restablecer el proceso pulsar BOTÓN (**FRENO**)
17. Usar solo en caso de emergencia BOTÓN (**EMERGENCIA**) o botón físico del PLC.

1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SET POINT	LECTURA DEL ENCODER		LECTURA DEL VARIADOR		CORRIENTE	
	AL VACÍO	CON CARGA	AL VACÍO	CON CARGA	AL VACÍO	CON CARGA

1. Describa el funcionamiento del controlador en lazo cerrado
2. Verificar los resultados obtenidos en la práctica y determine una tabla de valores observados.
3. Según la práctica interpretar las curvas del set point y lectura del encoder
4. Según la descripción de las curvas cuál es el margen de error en lazo cerrado.

1. CONCLUSIONES

2. RECOMENDACIONES

3. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Spartacus, Teoría de Control Diseño Electrónico, Segunda ed., Barcelona: Artympres S.A., 2000.
- [2] F. Morilla, «Controladores PID,» Enero 2007.
- [3] SIMATIC S7 Controlador programable S7 - 1200, Cuarta ed., SIEMENS Manual de sistema, 2012.
- [4] SIMATIC HMI device, KTP 400 Basic, KTP 600 Basic, KTP 1000 Basic, TP 1500 Basic, Octava ed., SIEMENS Operating Instructions, 2008.
- [5] M. Álvarez, Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, Barcelona: MARCOMBO, S.A., 2000.
- [6] F. Reyes, Control de Robots Manipuladores, Primera ed., México: Alfaomega, 2011, p. 592.

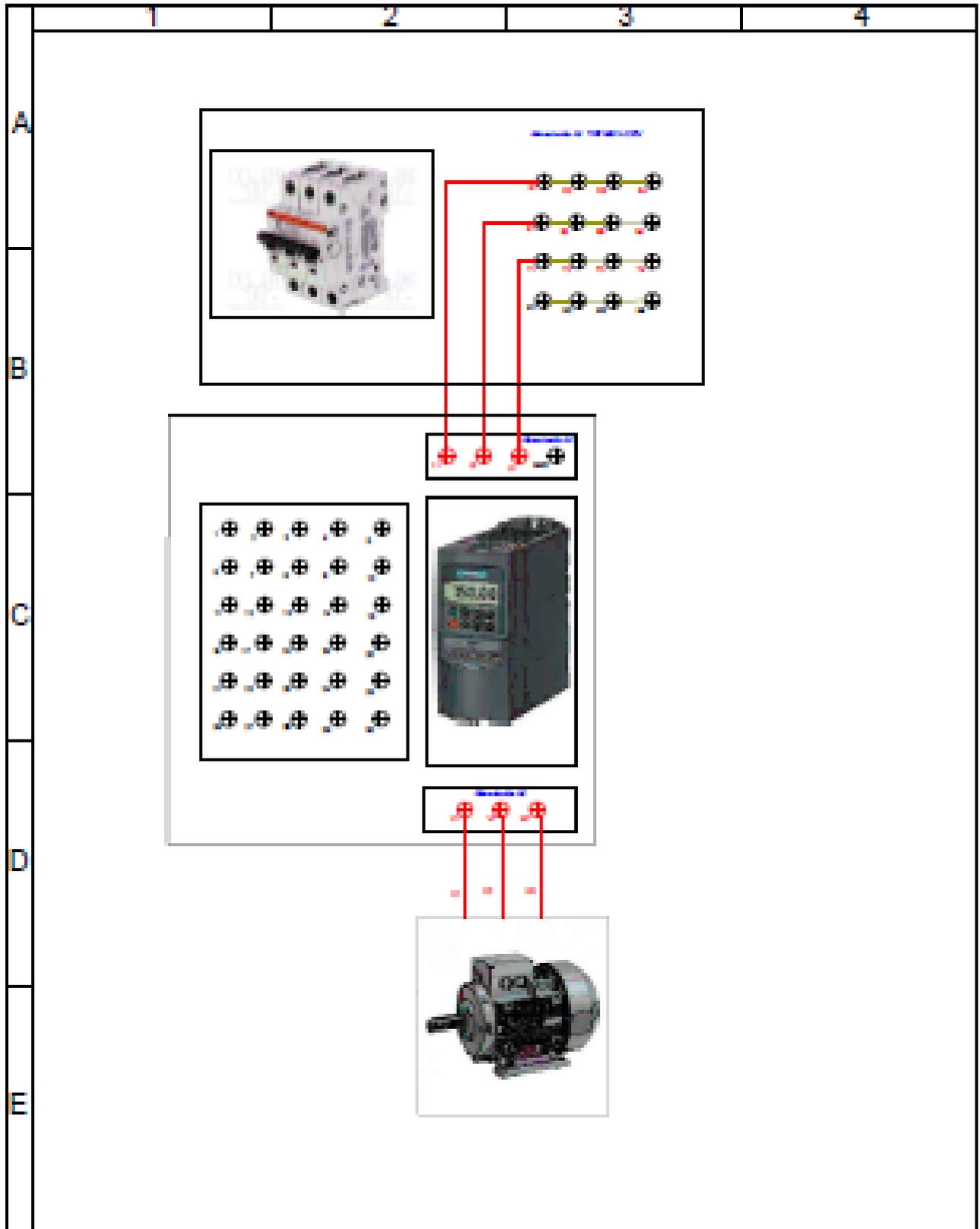
4. ANEXOS

FORMATO ANÁLISIS DE RESULTADOS



ANEXO VIII Análisis de resultados					Pag. 1-1	
ELABORADO POR:				CONTROL DE MOTORES DE INDUCCIÓN J. ARDILLA		
TEMA DE LA PRÁCTICA:				PRÁCTICA N°:		
FECHA:						
DATOS DEL MOTOR				DATOS DE LA PRÁCTICA		
TIPO DE MOTOR:				LAZO DE CONTROL:		
CÓDIGO DE MOTOR:				CARGA/ SIN CARGA:		
VOLTAJE:				EQUIPOS UTILIZADOS:		
CONEXIÓN:						
POTENCIA:						
RESULTADOS						
SET POINT (RPM)	LECTURA DEL ENCODER (RPM)		LECTURA DEL VARIADOR (RPM)		CORRIENTE (A)	
	AL VACÍO	CON CARGA	AL VACÍO	CON CARGA	AL VACÍO	CON CARGA
ANÁLISIS DE RESULTADOS			DIAGRAMA SET POINT- LECTURA ENCODER			

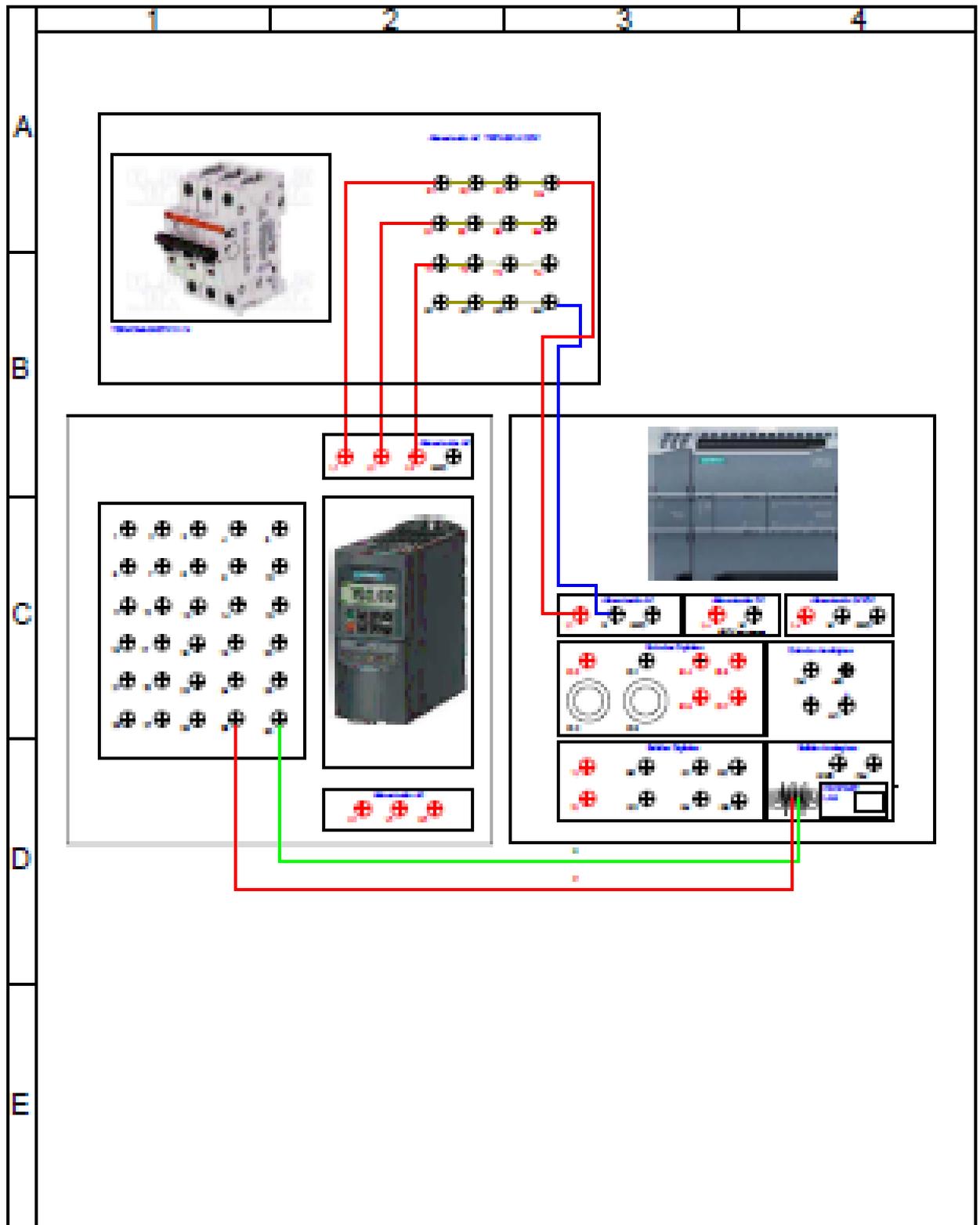
PLANOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



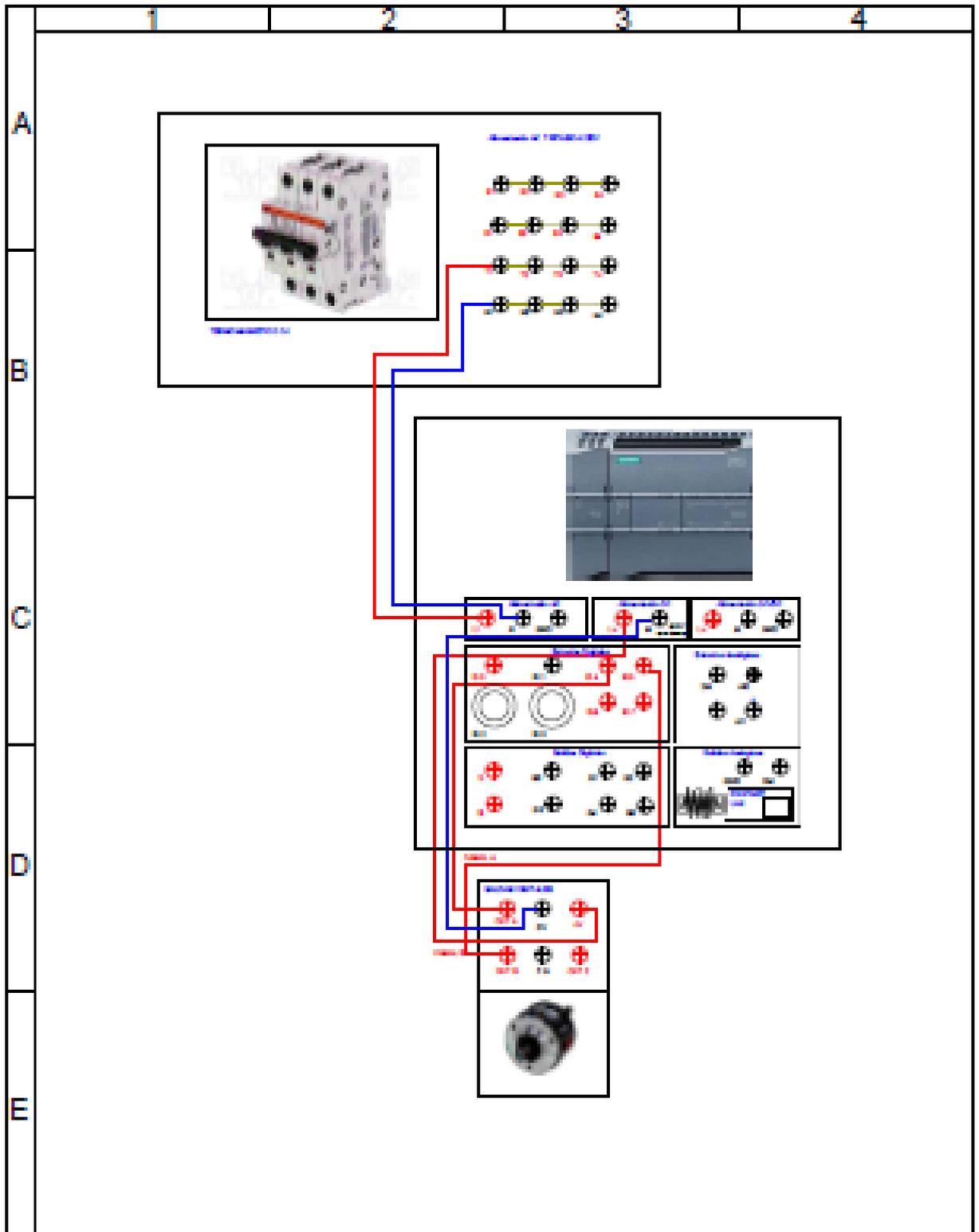
Dibujo: Jorge Araque	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	Escala: 1:1
Revisado: Ing. Paul Corrales Ing. Luigi Freire		Lámina: 1
Aprobado: Ing. Paul Corrales Ing. Luigi Freire	Contiene: CONEXIÓN ELÉCTRICA 220V MOTOR DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA - VARIADOR MM440	Asignatura: ASIGNATURA
Fecha: 15/09/2020		S.U.:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



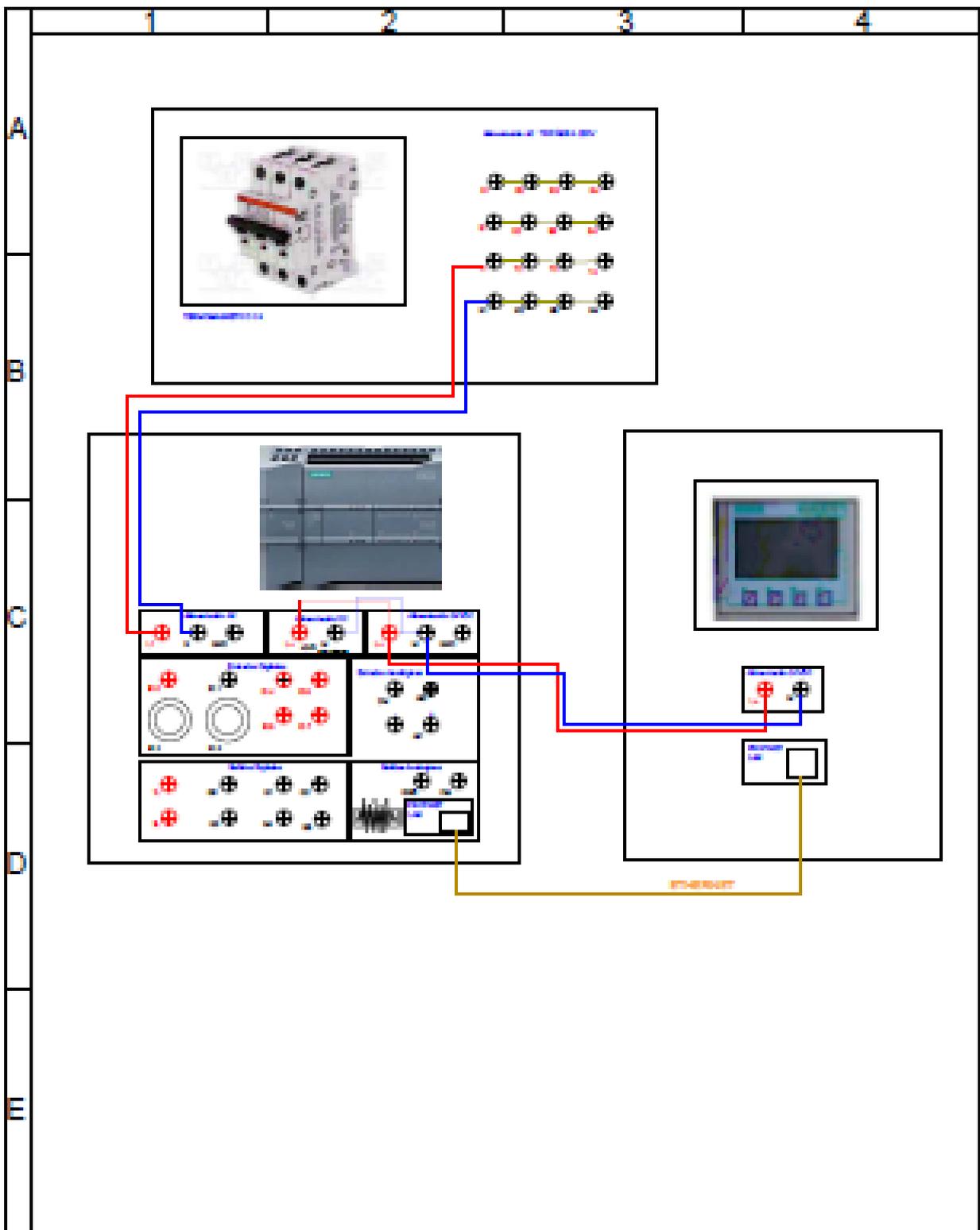
Dibujo: Jorge Araque	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	Escala: 1:1
Revisado: Ing. Paúl Corrales Ing. Luigi Freire		Lámina: 2
Aprobado: Ing. Paúl Corrales Ing. Luigi Freire	Contiene: CONEXIÓN DEL BUS CONTROLADOR USS VARIADOR MM440 - PLC S7-1200 AC/DC RELAY	Asignatura: ASIGNATURA
Fecha: 15/09/2020		S.U.:



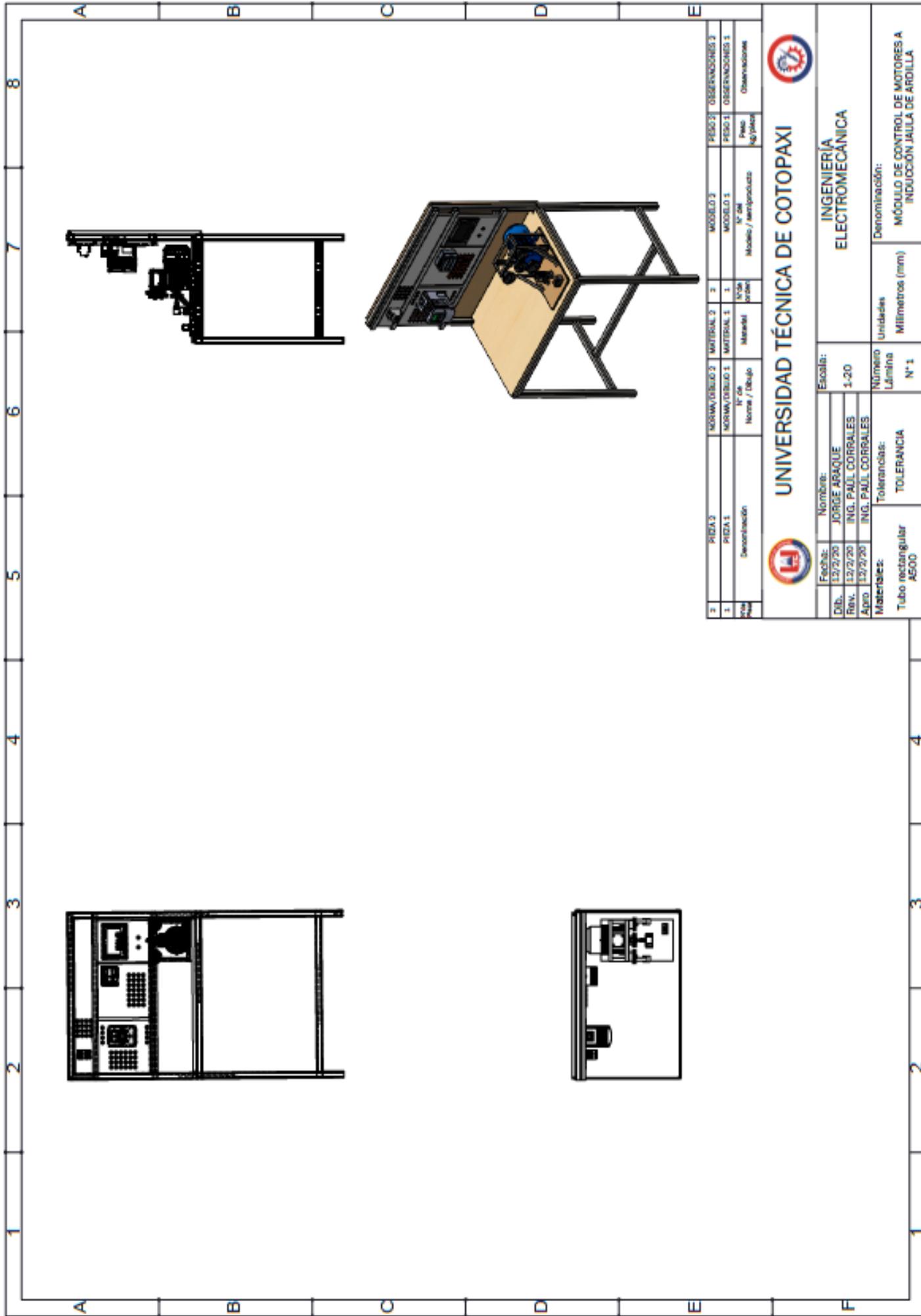
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

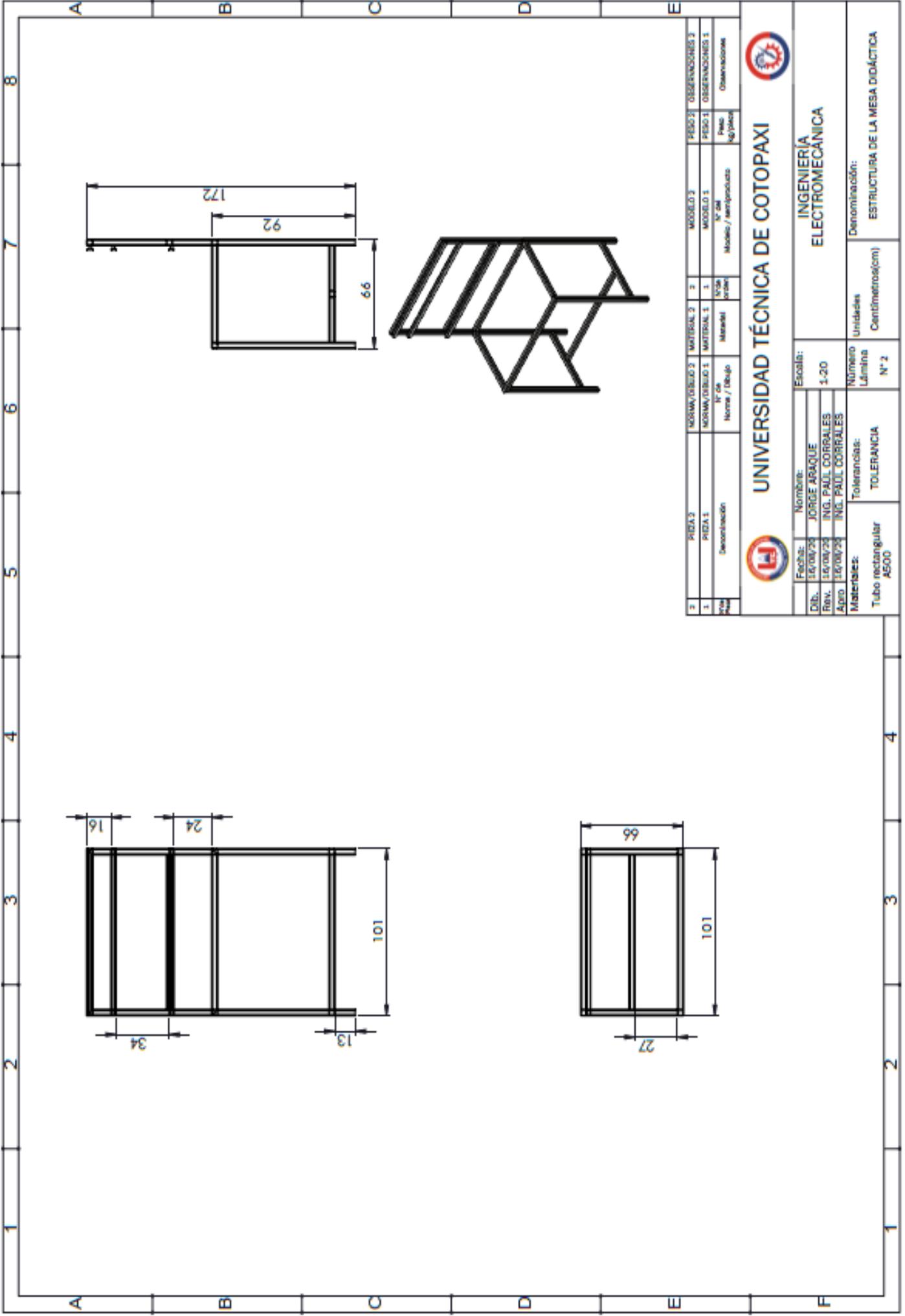


Dibujó: Jorge Araque	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	Escala: 1:1
Revisado: Ing. Paul Corrales Ing. Luigi Freire		Lámina: 3
Aprobado: Ing. Paul Corrales Ing. Luigi Freire	Contiene:	Asignatura: ASIGNATURA
Fecha: 15/09/2020	CONDICIÓN DE RETROALIMENTACIÓN PLC S7-1200 AC/DC RELAY - ENCODER INCREMENTAL	S.U.: -



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI 		
Dibujo: Jorge Araque	INGENIERÍA	Escala: 1:1
Revisado: Ing. Paul Corral Ing. Luigi Fraire	ELECTROMECAÁNICA	Lámina: 4
Aprobado: Ing. Paul Corral Ing. Luigi Fraire	Contiene:	Asignatura: ASIGNATURA
Fecha: 15/09/2020	INTERFAZ HMI KTP 400 - PLG-ST 1200 AC/DC RELAY	S.U.: -





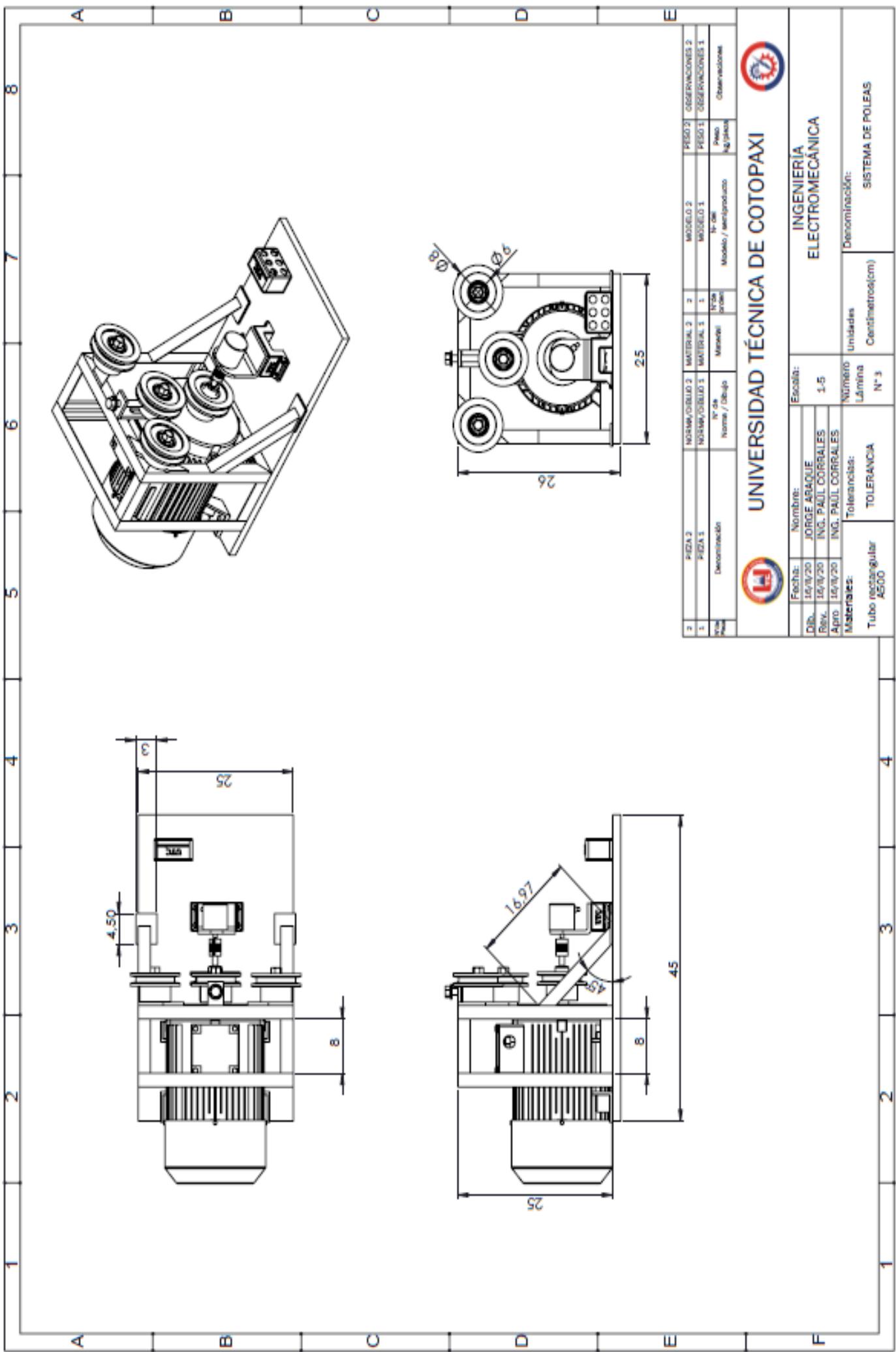
2	PIZA 2	MORMA/DEBULO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIZA 1	MORMA/DEBULO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
3	Detalle	N° de Norma / Dibujo	Materia	UVA	N° del Modelo / semiproducto	Peso Ag/ pieza	Observaciones



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Nombre: JORGE ARAQUE		Escala: 1:20	
Dib.: 16/06/20		Número Lámina: N° 2	
Rev.: 16/06/20		Denominación: INGENIERIA ELECTROMECANICA	
Apro.: 16/06/20		Unidades Centímetros(cm) ESTRUCTURA DE LA MESA DIDÁCTICA	
Materiales: Tubo rectangular 4500		Tolerancias: TOLERANCIA	



2	PIEDA 2	NORMA/DIBUJO 2	MATERIAL 2	2	MODELO 2	PESO 2	OBSERVACIONES 2
1	PIEDA 1	NORMA/DIBUJO 1	MATERIAL 1	1	MODELO 1	PESO 1	OBSERVACIONES 1
Pieza		Denominación	N° de norma / dibujo	Materiales	N° de modelo / semiproducción	Peso kg/galga	Observaciones



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha:		Nombre:		Escala:	
16/IV/20		JORGE ARAQUE		1-5	
Rev. 16/IV/20		ING. PAUL CORRALES			
Apro. 16/IV/20		ING. PAUL CORRALES			
Materiales:		Tolerancias:		Denominación:	
Tubo rectangular AS500		TOLERANCIA		SISTEMA DE POLEAS	
		Número Lámina N° 3		Unidades Centímetros(cm)	