

Diseño e implementación de un módulo didáctico para el monitoreo y control de variables físicas y eléctricas de un proceso rotacional, utilizando protocolos de comunicación basados en ethernet industrial y RS485, para el Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga

Autores:

Ninabanda Amangandi, Jefferson Roberto y Rea Paliz, Kevin Ricardo

Tutor:

Ing. Sánchez Ocaña, Wilson Edmundo, MSc.



Agenda

- Planteamiento del problema
- Justificación
- Objetivos
- Metodología
- Diseño y selección de componentes
- Implementación
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, no cuenta con un módulo didáctico para que los estudiantes validen sus conocimientos teóricos, mediante la experimentación de las capas física, de enlace y aplicación que propone OSI Industrial, en protocolos Ethernet Industrial así como en Comunicación Serial RS 485, de variables físicas y eléctricas de procesos rotacionales, brindando una alternativa de solución e interconectividad entre protocolos de Comunicación Industrial.

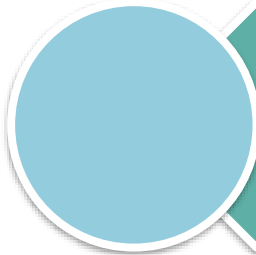
Es necesario fusionar protocolos de comunicación basados en Ethernet Industrial con protocolos de comunicación Serial Industrial, así como también emplear dispositivos de campo multimarca y de diferentes generaciones, buscando una nueva propuesta y alternativa de solución a problemas reales de la industria.



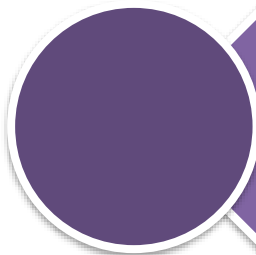
JUSTIFICACIÓN



El laboratorio de Hidrónica y Neutrónica no cuenta con un módulo para realizar pruebas de comunicación entre los principales equipos más utilizados conectados en red para el desarrollo y automatización de sistemas y procesos.



El estudiante obtendrá una herramienta multifuncional, podrá realizar simulaciones en el módulo, al establecer una comunicación entre equipos que componen el módulo, utilizando dos protocolos de comunicación más utilizados en la industria, los cuales son Profinet y Modbus RTU485.



El presente proyecto permitirá llegar a ser más competitivo en el ámbito académico como profesional, el desarrollo e implementación de este sistema podría ser orientado a la enseñanza y permitir la transmisión de conocimientos para estudiantes ayudando en su formación profesional



OBJETIVO GENERAL:

Diseñar e implementar un módulo didáctico para el monitoreo y control de variables físicas y eléctricas de un proceso rotacional para realizar pruebas de comunicación utilizando protocolos basados en Ethernet Industrial y RS 485 en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Construir e implementar el módulo didáctico de control de procesos en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.
- Realizar el montaje de los equipos de medición y control involucrados en el módulo didáctico para el proceso rotacional a través de protocolo de comunicación Modbus RS 485 y TCP/IP.
- Determinar los medios físicos para la comunicación TCP/IP y Modbus RS 485.
- Determinar las configuraciones del protocolo de comunicación TCP/IP y Modbus RS 485.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Monitorear y Controlar las variables físicas y eléctricas de los equipos de control implementados en el módulo didáctico de comunicación.
- Monitorear las variables eléctricas de la alimentación hacia el módulo de comunicación mediante un analizador de energía.
- Realizar pruebas de funcionamiento y comunicación del módulo con sus respectivos parámetros de sintonización.



Metodología

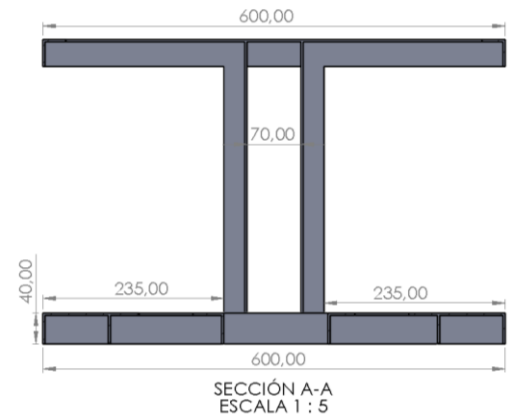
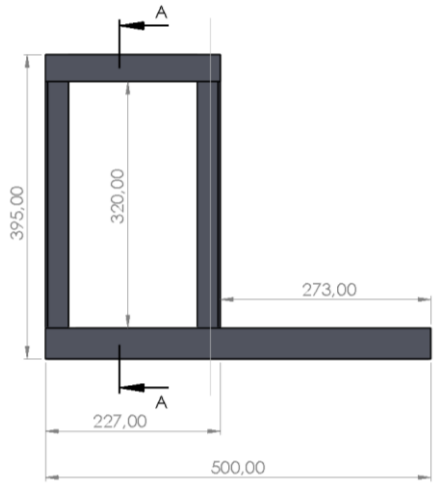
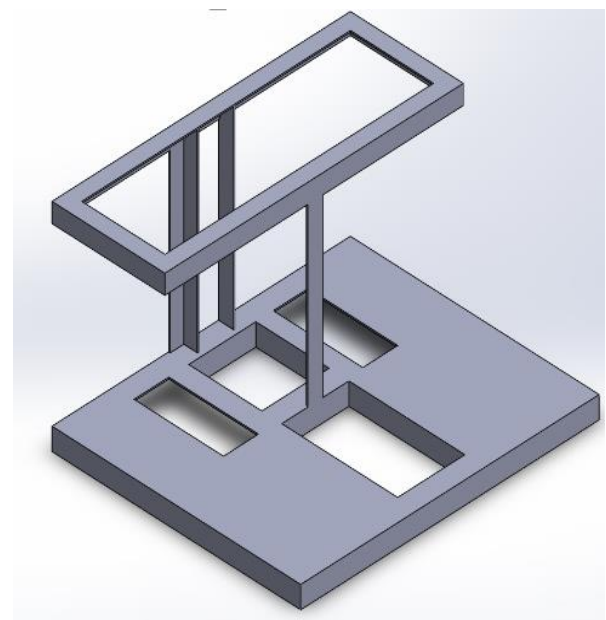
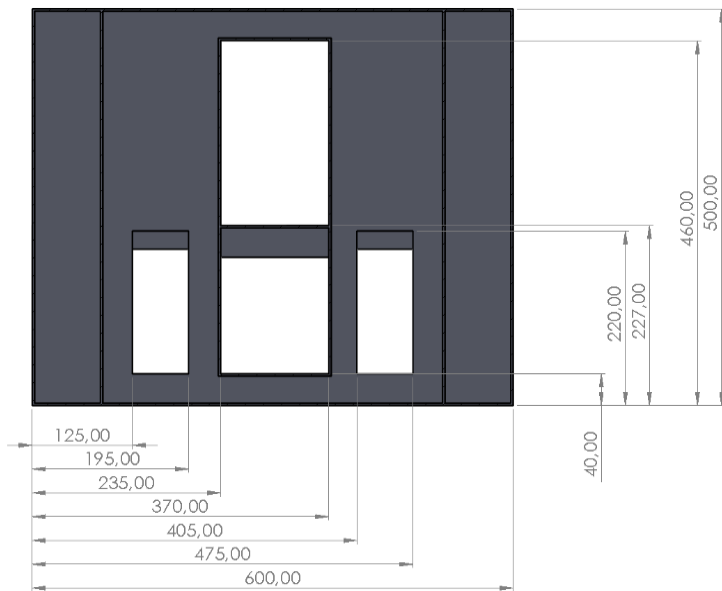
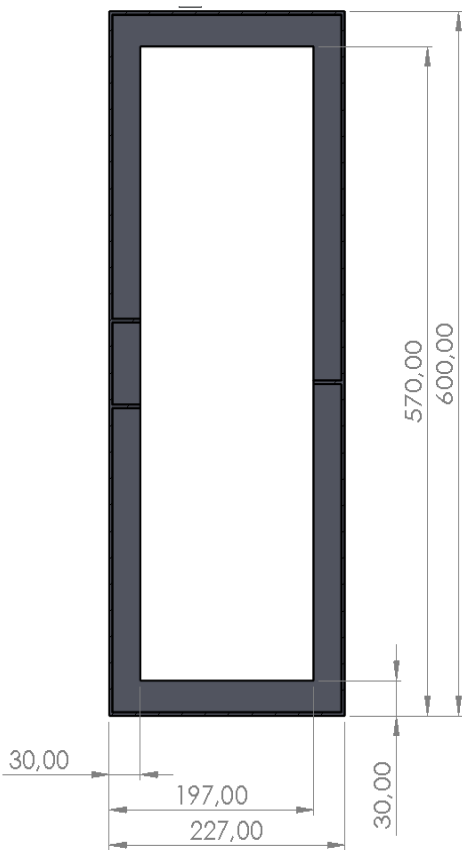
Investigación Bibliográfica

Investigación de Campo

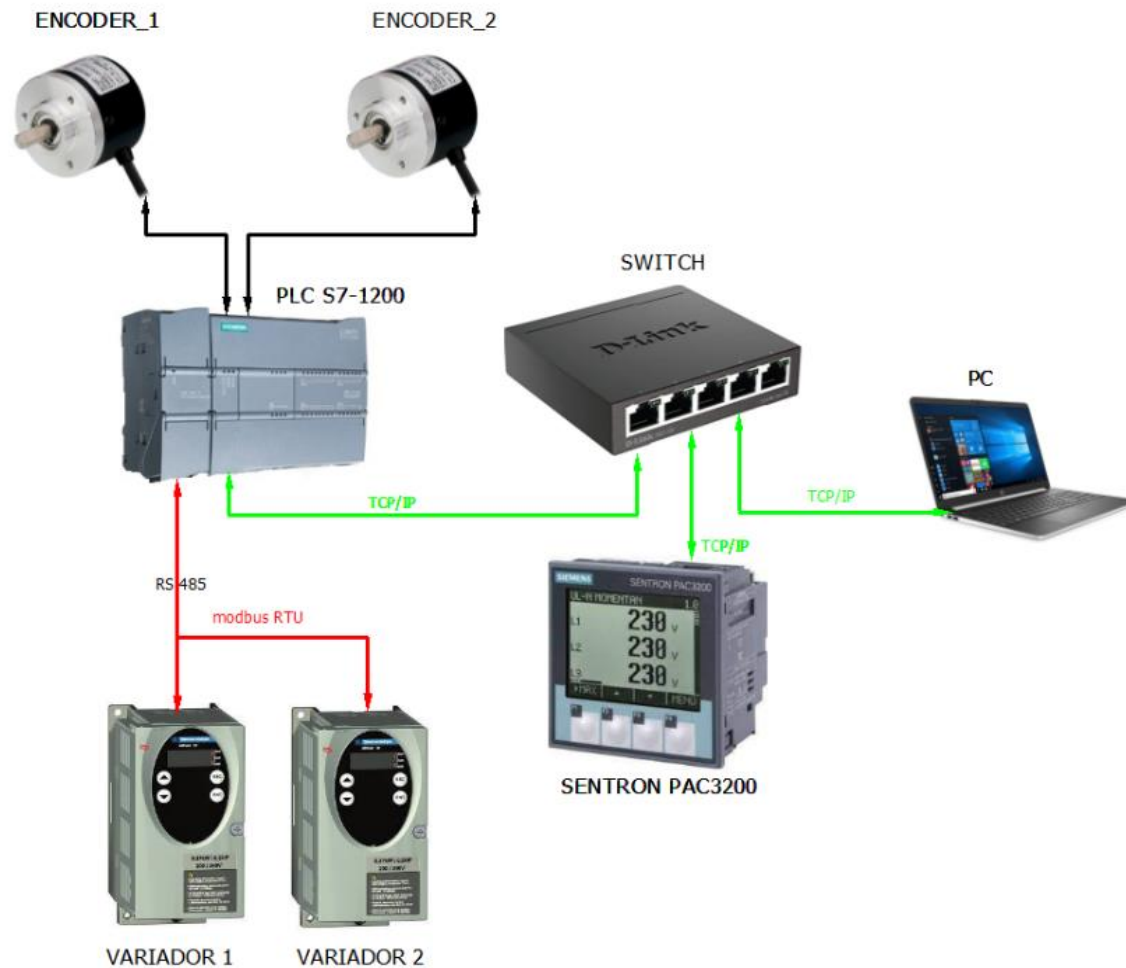
Investigación Experimental



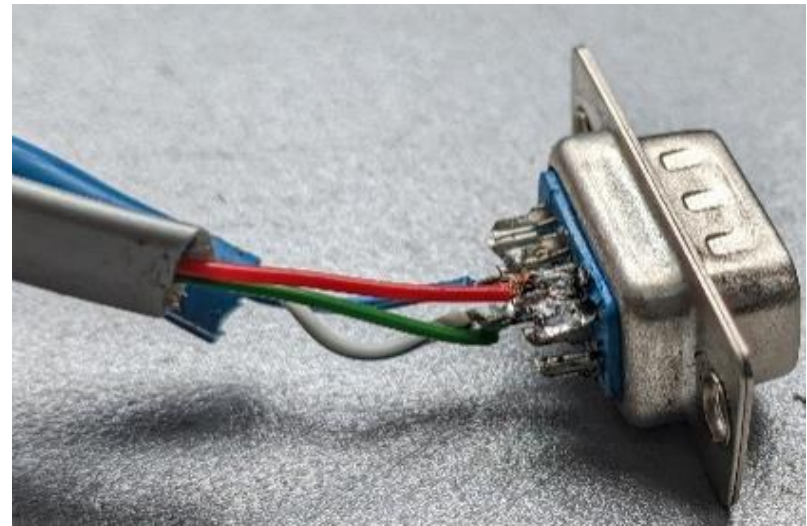
Diseño y selección de componentes



Diseño y selección de componentes



Implementación

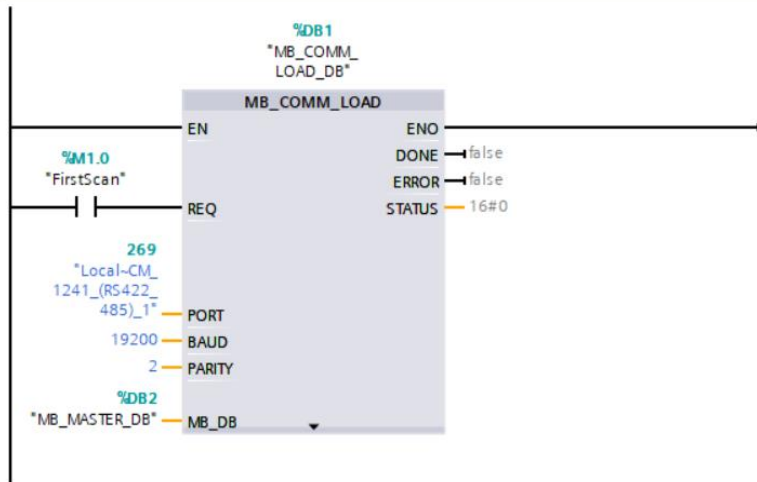


Implementación



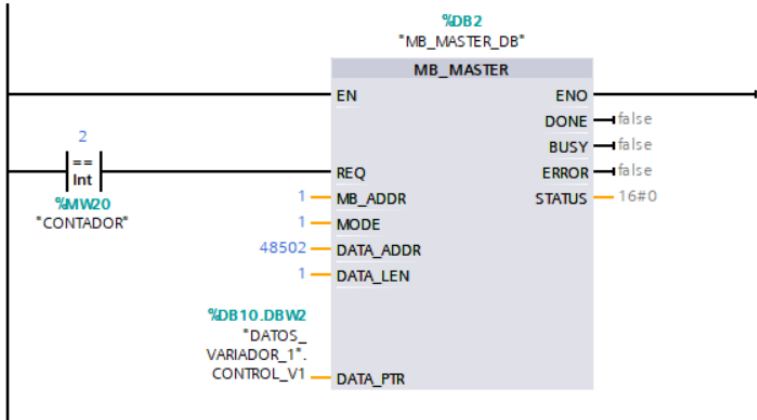
Segmento 2: Configuraciones MODBUS (Puerto, Velocidad, Paridad)

Comentario



Segmento 3: Configuración ESCRITURA - COMANDOS ESCLAVO 1

Comentario



Análisis de resultados

Prueba de Comunicación de control Local HMI

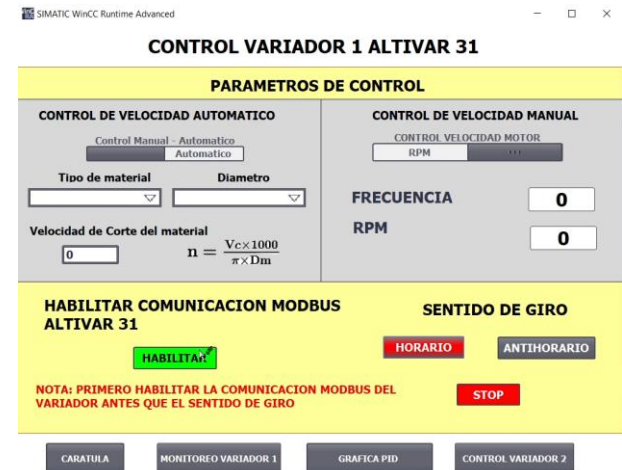
Se realiza la puesta en marcha del módulo de comunicación, en primer lugar, se observa que los leds indicativos en el PLC junto con los del módulo de comunicación aseguren que existe el envío y recepción de datos



Pruebas de comunicación en Control Manual

Control por Frecuencia

la pantalla HMI creada, en la misma se envía el dato de activación del Switch de comunicación hacia los dos variadores seleccionando el botón “HABILITAR”. Adicionalmente se selecciona el control manual por frecuencia



Análisis de resultados

Activación del sentido de giro horario y antihorario en el hmi.

SIMATIC WinCC Runtime Advanced

CONTROL VARIADOR 1 ALTIVAR 31

PARAMETROS DE CONTROL

CONTROL DE VELOCIDAD AUTOMÁTICO
Control Manual - Automático
Automático

Tipo de material Diámetro

Velocidad de Corte del material
$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_m}$$

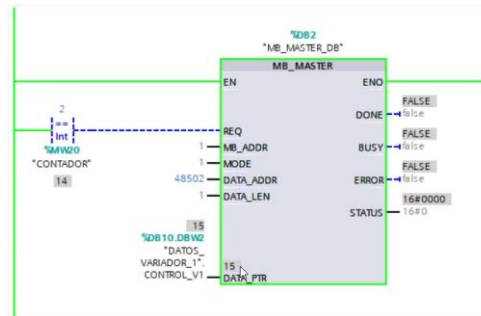
CONTROL DE VELOCIDAD MANUAL
CONTROL VELOCIDAD MOTOR
RPM

FRECUENCIA

RPM

HABILITAR COMUNICACION MODBUS ALTIVAR 31 **SENTIDO DE GIRO**

NOTA: PRIMERO HABILITAR LA COMUNICACION MODBUS DEL VARIADOR ANTES QUE EL SENTIDO DE GIRO



SIMATIC WinCC Runtime Advanced

CONTROL VARIADOR 2 ALTIVAR 31

PARAMETROS DE CONTROL

CONTROL DE VELOCIDAD AUTOMÁTICO
Control Manual - Automático
Automático

Tipo de material Diámetro

Velocidad de Corte del material
$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_m}$$

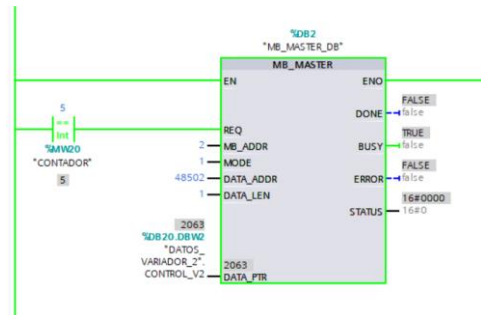
CONTROL DE VELOCIDAD MANUAL
CONTROL VELOCIDAD MOTOR
RPM

FRECUENCIA

RPM

HABILITAR COMUNICACION MODBUS ALTIVAR 31 **SENTIDO DE GIRO**

NOTA: PRIMERO HABILITAR LA COMUNICACION MODBUS DEL VARIADOR ANTES QUE EL SENTIDO DE GIRO



Análisis de resultados

Control de frecuencia del variador 1 y variador 2.

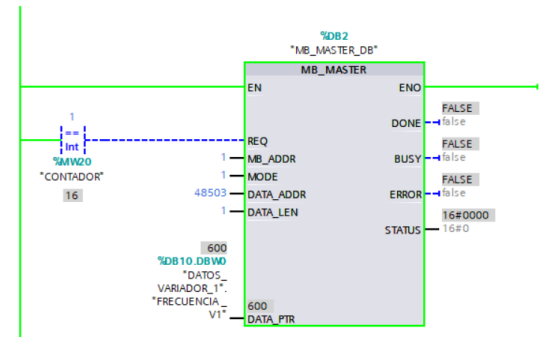
CONTROL VARIADOR 1 ALTIVAR 31

PARAMETROS DE CONTROL

CONTROL DE VELOCIDAD AUTOMÁTICO Control Manual - Automático Automático Tipo de material: <input type="text"/> Diámetro: <input type="text"/> Velocidad de Corte del material: <input type="text"/> $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_m}$	CONTROL DE VELOCIDAD MANUAL CONTROL VELOCIDAD MOTOR RPM: <input type="text"/> FRECUENCIA: <input type="text" value="60"/> RPM: <input type="text" value="80"/>
---	---

HABILITAR COMUNICACION MODBUS ALTIVAR 31

NOTA: PRIMERO HABILITAR LA COMUNICACION MODBUS DEL VARIADOR ANTES QUE EL SENTIDO DE GIRO



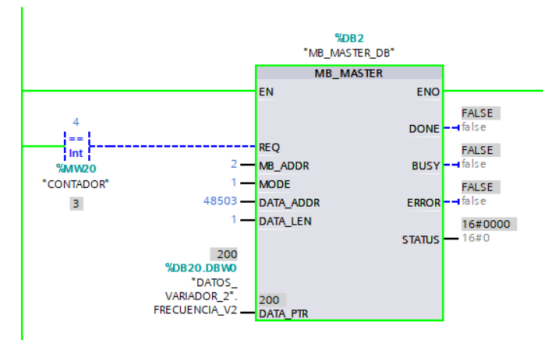
CONTROL VARIADOR 2 ALTIVAR 31

PARAMETROS DE CONTROL

CONTROL DE VELOCIDAD AUTOMÁTICO Control Manual - Automático Automático Tipo de material: <input type="text"/> Diámetro: <input type="text"/> Velocidad de Corte del material: <input type="text"/> $n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_m}$	CONTROL DE VELOCIDAD MANUAL CONTROL VELOCIDAD MOTOR RPM: <input type="text"/> FRECUENCIA: <input type="text" value="20"/> RPM: <input type="text" value="23"/>
---	---

HABILITAR COMUNICACION MODBUS ALTIVAR 31

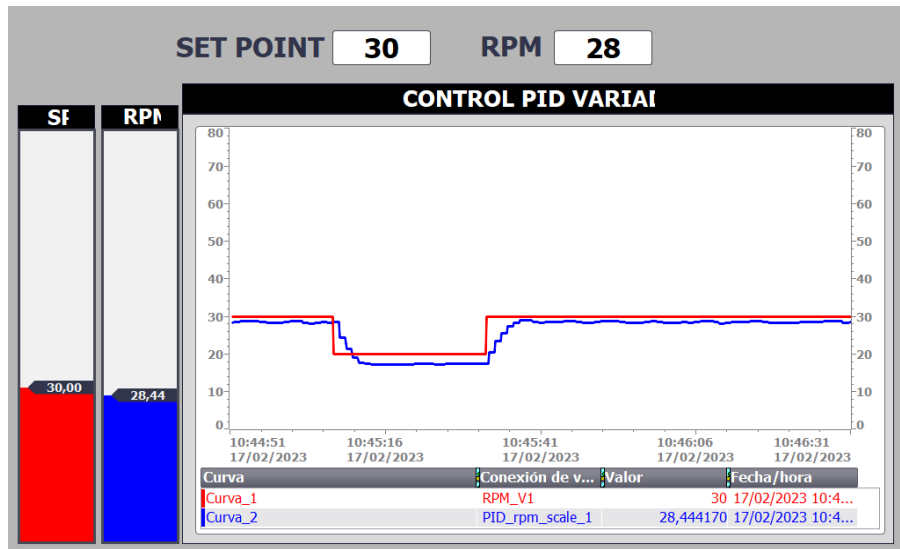
NOTA: PRIMERO HABILITAR LA COMUNICACION MODBUS DEL VARIADOR ANTES QUE EL SENTIDO DE GIRO



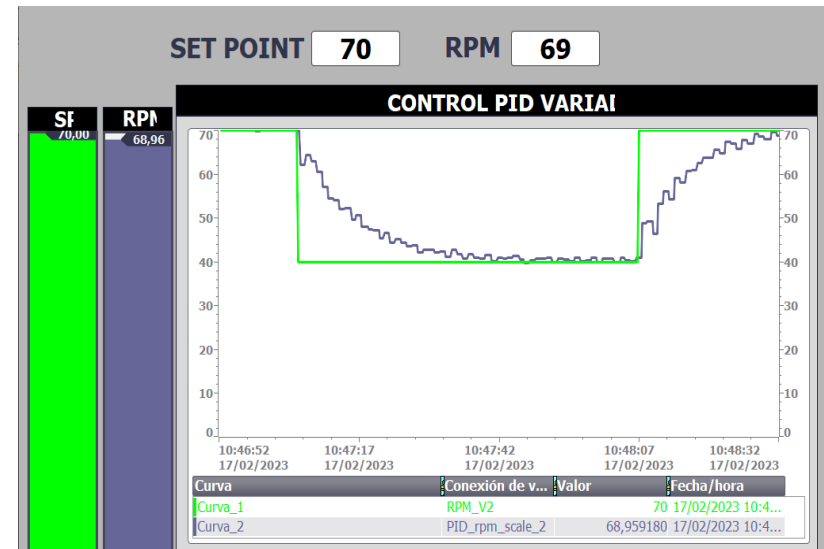
Análisis de resultados

Control en PID en RPM

Sintonización PID motor 1



Sintonización PID del motor 2



Análisis de resultados

Constantes de ganancia y tiempos del PID del motor 1 y motor 2.

Parámetros PID

Activar entrada manual

Ganancia proporcional: 1.644629E-1

Tiempo de integración: 4.281963E-1 s

Tiempo derivativo: 5.256559E-2 s

Coefficiente retardo derivativo: 0.1

Ponderación de la acción P: 1.0

Ponderación de la acción D: 0.0

Tiempo muestreo algoritmo PID: 9.99969E-2 s

Regla para la optimización

Estructura del regulador: PID

Parámetros PID

Activar entrada manual

Ganancia proporcional: 3.143625E-1

Tiempo de integración: 2.048143 s

Tiempo derivativo: 4.573762E-1 s

Coefficiente retardo derivativo: 0.1

Ponderación de la acción P: 1.0

Ponderación de la acción D: 0.0

Tiempo muestreo algoritmo PID: 9.99967E-2 s

Regla para la optimización

Estructura del regulador: PID

Monitoreo de Datos de Proceso

MONITOREO VARIABLES VARIADOR 1 ALTIVAR 31			
FRECUENCIA	+60,0	CORRIENTE	1,7
TORQUE	16	POTENCIA	17
VOLTAJE	208,6	TEMPERATURA	11



Análisis de resultados

Lectura de Datos analizador de Energía Sentron PAC

SENTRON_MONITOREO (instantánea generada: 09/02/2023 13:46:00)										
Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Valor de observación	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ...	Valor de a...	Comentario
Static	Array(0..100...	0.0								
SENTRON_PAC_M(0)	Real	0.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Tensión UL1-N
SENTRON_PAC_M(1)	Real	4.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Tensión UL2-N
SENTRON_PAC_M(2)	Real	8.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Tensión UL3-N
SENTRON_PAC_M(3)	Real	12.0	0.0	216.0123						Tensión UL1-L2
SENTRON_PAC_M(4)	Real	16.0	0.0	216.722						Tensión UL2-L3
SENTRON_PAC_M(5)	Real	20.0	0.0	217.1477						Tensión UL3-L1
SENTRON_PAC_M(6)	Real	24.0	0.0	0.00970733						Corriente L1
SENTRON_PAC_M(7)	Real	28.0	0.0	0.01293919						Corriente L2
SENTRON_PAC_M(8)	Real	32.0	0.0	0.03542008						Corriente L3
SENTRON_PAC_M(9)	Real	36.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Potencia aparente L1
SENTRON_PAC_M(10)	Real	40.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Potencia aparente L2
SENTRON_PAC_M(11)	Real	44.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Potencia aparente L3
SENTRON_PAC_M(12)	Real	48.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Potencia activa L1
SENTRON_PAC_M(13)	Real	52.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Potencia activa L2
SENTRON_PAC_M(14)	Real	56.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Potencia activa L3
SENTRON_PAC_M(15)	Real	60.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Potencia reactiva L1
SENTRON_PAC_M(16)	Real	64.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Potencia reactiva L2
SENTRON_PAC_M(17)	Real	68.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Potencia reactiva L3
SENTRON_PAC_M(18)	Real	72.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Factor de potencia
SENTRON_PAC_M(19)	Real	76.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Factor de potencia
SENTRON_PAC_M(20)	Real	80.0	0.0	16#FFFF_FFFF						Factor de potencia
SENTRON_PAC_M(21)	Real	84.0	0.0	16#FFFF_FFFF						THD-R en tensión
SENTRON_PAC_M(22)	Real	88.0	0.0	16#FFFF_FFFF						THD-R en tensión
SENTRON_PAC_M(23)	Real	92.0	0.0	16#FFFF_FFFF						THD-R en tensión
SENTRON_PAC_M(24)	Real	96.0	0.0	83.32656						THD-R en corriente
SENTRON_PAC_M(25)	Real	100.0	0.0	85.32985						THD-R en corriente
SENTRON_PAC_M(26)	Real	104.0	0.0	76.86771						THD-R en corriente



MONITOREO VARIABLES MEDIDOR DE ENERGIA SENTRON PAC320C (mediciones de la fuente)			
VOLTAJE L1-L2	210,35	CORRIENTE L1	2,73
VOLTAJE L2-L3	209,93	CORRIENTE L1	1,36
VOLTAJE L3-L1	210,67	CORRIENTE L1	2,47
FRECUENCIA	59,98		



Conclusiones

- Se diseñó e implementó un módulo didáctico para el monitoreo y control de variables físicas y eléctricas de un proceso rotacional, utilizando protocolos de comunicación basados en ethernet industrial y RS 485 en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga
- Para el apartado de control se implementaron dos variadores de la marca Telemecanique Altivar 31 los cuales soportan la comunicación Modbus RS 485, además un PLC de la marca Siemens con cpu 1214c AC/DC Ryle, el cual este acoplado a un módulo de comunicación de la misma marca, permitiendo establecer la comunicación entre dichos dispositivos. Por otro lado, para el apartado de monitoreo se colocó un analizador de energía de la marca Siemens de modelo Sentron PAC 3200, este analizador permite el modo de comunicación por TCP/IP. Adicionalmente se incluyó dos encoders de la marca KOYO los cuales registran la velocidad del proceso rotacional.



Conclusiones

- En la trama de comunicación Modbus RS 485, el medio de comunicación por el cual se transmite los datos es mediante dos cables, para el módulo de comunicación CM124, se tiene el terminal Db9 identificando los pines 3 (D+) y 8 (D-) que serán conectados hacia el terminal Rj45 de los variadores de frecuencia, identificando los pines de acuerdo a la comunicación establecida, es decir los pines 4 (D1+) y 5 (D0-). En el caso de la comunicación por TCP/IP, la transmisión de datos se lo realiza por el cable ethernet.
- El protocolo de comunicación RS 485 implementado en el proyecto, funciona con el envío de datos de manera binaria junto con una comprobación de errores CRC. La trama de comunicación contiene el mensaje en 1 bit de inicio, 8 bits de datos, con una paridad par y 1 bit de parada, la cual se transmite a una velocidad de 19200 baudios por segundo.



Conclusiones

- Para el monitoreo y control de las variables físicas y eléctricas en el presente proyecto, se implementó la comunicación RS 485, para lo cual fue necesario identificar los espacios de memoria de lectura y escritura para el monitoreo y control del proceso respectivamente. Estos espacios de memoria son provistos por el fabricante en los manuales de funcionamiento. Se pudo monitorear las variables eléctricas como la corriente, frecuencia, voltaje, potencia y a su vez se pudo controlar las variables de frecuencia y rpms. Estos datos de control y monitoreo fueron transmitidos en el orden de los milisegundos.
- Para monitorear las variables eléctricas de entrada en la alimentación del módulo de comunicación implementado, se utilizó un analizador de energía Sentron PAC 3200 en el cual se configuró el protocolo de comunicación TCP/IP, por lo cual fue necesario identificar las variables medidas Modbus disponibles, ayudando a la visualización de variables como: Voltajes de Línea, Corrientes de Línea, frecuencia del sistema, potencia aparente total, potencia activa total, potencia reactiva total, factor de potencia, entre otros



Conclusiones

- En el módulo de comunicación, se realizó pruebas de funcionamiento mediante un control manual y automático. En el control manual se logró controlar los valores de consigna de frecuencia y revoluciones por minutos (rpm). Para el control del proceso mediante rpm, se realizó una regulación PID a los valores leídos en rpm por los encoder, logrando así que la consigna de frecuencia hacia el variador sea el equivalente en rpms, permitiendo tener un resultado preciso y rápido al momento de estabilizarse.



Recomendaciones

- Para la implementación de un módulo didáctico de comunicación, se recomienda adquirir equipos acordes a los protocolos de comunicación existentes en el módulo didáctico, así también dispositivos compatibles con las características del controlador lógico programable, evitando la pérdida de tiempo en la adquisición de equipos y gastos innecesarios.
- Para la transmisión de datos en el protocolo de comunicación Modbus RS 485, se recomienda identificar los pines positivos y negativos del terminal Db9, al mismo tiempo que los pines de las señales positivas y negativas del terminal Rj45, realizando una prueba de continuidad la cual asegura el envío y recepción de datos.



Recomendaciones

- Para que el envío y recepción de datos en la trama de comunicación Modbus RS 485, es recomendable que las configuraciones de trama sean iguales tanto en los bloques de programación, como las configuraciones en el módulo de comunicación CM1241 y en las configuraciones de los variadores, puesto que, al no haber una igualdad de parámetros, la comunicación no se podrá llevar a cabo.
- Los valores medidos y registrados por el analizador de energía pueden ser verificados físicamente mediante pruebas con equipos de medición como multímetros.
- Se recomienda realizar un trabajo complementario en el cual se pueda realizar el modelamiento del proceso mediante un software adecuado, añadiendo un control de posición con la lectura de los valores de los pulsos de los encoders.



Bibliografía

Aquino Rodríguez, P. (2008). *Comunicaciones Industriales Guía Práctica* (Vol. Schneider Electric Siemens). Barcelona: Marcombo.

Armesto Quiroga, J. (2007-2008). Orientación Instalaciones y Construcción. *Instalación de Sistemas de Automatización y Datos*. Universidad de Vigo. Obtenido de https://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1567/ISAD_Tema6.pdf

AULA21. (2020). *Sistema de Control Distribuido*. Centro de Información Técnica para la Industria . Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-de-control-distribuido/>

Blanco, F., Castro, J., & Santana, W. (2019). *Las claves de la Cuarta Revolución Industrial: Cómo afectará a los negocios y a las personas*. Barcelona: LibrosDeCabecera.

COPADATA. (2021). *Sistemas de Control Industrial*. Obtenido de <https://www.copadata.com/es/productos/platform-editorial-content/sistemas-de-control-industrial/>



Bibliografía

- López Salazar, R. C., & Mora Ledesma, E. A. (2017). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA UNA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL UTILIZANDO PROTOCOLO ABIERTO MODBUS RTU –TCP/IP PARA MONITOREO, CONTROL LOCAL Y REMOTO DE LA ESTACIÓN DE MULTIVARIABLES FÍSICAS, EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Maldonado Reinoso, V. A. (2021). *Desarrollo de un servidor de datos industrial con protocolo Modbus TCP para los 8 códigos de función básicos*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21515>
- Mandado Pérez, E., Marcos Acevedo, J., Silva Fernández, C., Armesto Quiroga, I., Rivas López, J. L., & Núñez Ortuño, J. M. (2018). *Sistemas de automatización y autómatas programables*. Marcombo.



¡Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA