



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"

MAESTRÍA EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
MIGRACIÓN DE MÓDULOS FLEX I/O EN PLC DE UNIDAD PRINCIPAL EN UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor/a:
Ing. Cristian Jacob Carrasco Mayorga
Tutor/a:
MG. Wilmer Albarracín

Quito – Ecuador

2023

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Wilmer Fabián Albarracin Guarochico con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: MIGRACIÓN DE MÓDULOS FLEX I/O EN PLC DE UNIDAD PRINCIPAL EN UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO.

Elaborado por: Cristian Jacob Carrasco Mayorga, de C.I: 1802844355, estudiante de la Maestría: EN ELECTRÓNICA, mención: AUTOMATIZACIÓN de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 29 de agosto de 2023



Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Cristian Jacob Carrasco Mayorga con C.I: 1802844355, autor/a del proyecto de titulación denominado: MIGRACIÓN DE MÓDULOS FLEX I/O EN PLC DE UNIDAD PRINCIPAL EN UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO. Previo a la obtención del título de Magister en ELECTRÓNICA, mención AUTOMATIZACIÓN.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 19 de septiembre del 2023

**CRISTIAN
JACOB
CARRASCO
MAYORGA**

Firmado digitalmente
porCRISTIAN JACOB
CARRASCO MAYORGA
DN: cn=CRISTIAN JACOB
CARRASCO MAYORGA c=EC
o=SECURITY DATA S.A. 2
ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION
Motivo:Soy el autor de este
documento
Ubicación:
Fecha:2023-09-19 11:32:05:00

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
INFORMACIÓN GENERAL	1
Contextualización del tema	1
Problema de investigación	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	3
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	3
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	4
1.1. Contextualización general del estado del arte	4
1.2. Proceso investigativo metodológico	7
CAPÍTULO II: PROPUESTA	9
2.1 Introducción	9
2.2 Fundamentos teóricos aplicados	9
Oleoducto	9
Estación de bombeo	9
Unidad principal de bombeo	10
Sistema de control	10
PLC ControlLogix	10
Adaptador ControlNet Ex Redundante	11
Adaptador Ethernet I/P 1719-AENTR	13
Software Studio 5000	14
RSLogix 5000 vs STUDIO 5000	15
2.3 Descripción de la propuesta	16
2.3.1 Estructura general	16
2.3.2 Explicación del aporte	17
2.3.3 Estrategias y/o técnicas	25
2.4 Validación de la propuesta	26
2.5 Matriz de articulación de la propuesta	29
2.6 Análisis de resultados. Presentación y discusión.	30

CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	40

Índice de tablas

Tabla 1. Componentes de la unidad en una estación de bombeo de crudo pesado	18
Tabla 2. Perfil de validadores	26
Tabla 3. Criterios de valuación	27
Tabla 4. Escala de evaluación (Carlos Adriano)	27
Tabla 5. Escala de evaluación (José Luis Fierro)	28
Tabla 6. Escala de evaluación (Wilson Gómez)	28
Tabla 7. Matriz de articulación	29

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de la estación de bombeo de crudo pesado	7
Figura 2. Unidades principales de la estación de bombeo de crudo pesado	10
Figura 3. PLC ControlLogix 5000 de Allen-Bradley	11
Figura 4. Adaptador ControlNet Ex Redundante	12
Figura 5. Comunicado emitido por Allen-Bradley	12
Figura 6. Descripción general de los componentes del 1719 Ex I/O	13
Figura 7. Módulos 1719 EX I/O	14
Figura 8. Versión del software Studio 5000	15
Figura 9. Versión del software RSLogix 5000	16
Figura 10. Diagrama del proceso - Unidad principal de bombeo	17
Figura 11. Unidad principal de estación de bombeo de crudo pesado	18
Figura 12. Características del módulo 1719-IBN8	19
Figura 13. Características del módulo 1719-OB2	20
Figura 14. Características del módulo 1719-IR4B	21
Figura 15. Características del módulo 1719-CF4H	22
Figura 16. Pantalla de programación del STUDIO 5000	24
Figura 17. Representación del conexionado	24
Figura 18. Tablero de control con módulos Flex I/O antiguos	31
Figura 19. Desconexión de acometidas de control	32
Figura 20. Tablero de control ya retirados los antiguos módulos Flex I/O	33
Figura 21. Nuevos módulos Flex I/O a ser instalados	34
Figura 22. Tablero de control con módulos Flex I/O nuevos	35

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

El avance de la industria del petróleo y gas se consiguen mediante el desarrollo de procesos los cuales poseen un grado de complejidad muy alto, la tecnología empleada para el tratamiento de estos recursos ha crecido de manera tal que facilitan el trabajo del sistema operativo de manera inimaginable. (revista seguridad360, 2021)

Con lo mencionado anteriormente se deduce la gran importancia de las nuevas tecnologías, mismas que se adaptan de acuerdo al entorno donde se desarrolla la actividad, mejorando los métodos de producción y apoyando a los trabajadores como recurso muy valioso para consecución de diversos objetivos. (revista seguridad360, 2021)

En la industria petroquímica la automatización de procesos es un gran aliado que lo podemos encontrar a nivel mundial, al utilizarla de manera apropiada y aprovechar todos sus recursos se ha podido resolver grandes desafíos que ha planteado la industria del petróleo, empezando desde la misma búsqueda de yacimientos, procesos de extracción, transporte y por último refinación del recurso. (revista seguridad360, 2021)

En base a datos estadísticos e información proporcionada por los entes respectivos se tiene conocimiento que los oleoductos ecuatorianos durante el año 2021 transportaron 43.74 millones de barriles de petróleo, equivalente a transportar un volumen de 480.63 miles de barriles diariamente y esto a su vez nos indica que se utilizó el 59.3% de la capacidad total de transporte diario de crudo instalada en el Ecuador. (Banco Central del Ecuador, 2021).

En el mismo año se tiene cifras que el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano transportó 29.10 millones de barriles de petróleo, dando lugar a un transporte de 319.82 miles de barriles diarios, lo que representa una utilización del 88.8% de su capacidad. Por otro lado el Oleoducto de Crudos Pesados transportó 14.63 millones de barriles de petróleo, dando lugar a un transporte de 160.81 miles de barriles diarios, con una utilización del 35.7% de su capacidad. (Banco Central del Ecuador, 2021).

La economía de nuestro país depende principalmente de la producción petrolera, la misma que actualmente bordea los 480000 barriles diarios, esta producción debe ser transportada desde los campos petroleros ubicados en la región oriental hacia los puertos de exportación ubicados en la región litoral en la provincia de Esmeraldas.

El Oleoducto de Crudos Pesados ayuda en el transporte de hidrocarburo en un rango promedio de 18°API, posee 4 estaciones de bombeo, 2 estaciones reductoras de presión, 1 estación automática de bloqueo y 1 terminal marino ubicado en Esmeraldas. En el caso de las estaciones de bombeo su punto de mayor relevancia son las bombas principales, las mismas que están constituidas por 3 equipos que son:

- Motor a combustión WARTSILA
- Caja reductora LUFKIN
- Bomba SULZER

El control de estos 3 equipos es mediante un PLC Allen Bradley que monitorea todas las señales de campo para garantizar el correcto funcionamiento de la unidad. Debido al tiempo de funcionamiento (desde el año 2002) los elementos constitutivos de la red de control del PLC han presentado varios inconvenientes puesto que han cumplido su vida útil.

El Oleoducto de Crudos Pesados es una empresa caracterizada por cumplir con altos estándares en la industria del transporte de crudo, razón por la cual está a la vanguardia de la tecnología y cumple con su misión principal, para lo cual debe mantener su maquinaria en perfectas condiciones y acorde a los desarrollos tecnológicos.

Problema de investigación

Actualmente el control de la unidad principal de bombeo ejecuta su tarea con ciertos inconvenientes, lo cual no garantiza una eficiente operación del equipo afectando al caudal de bombeo que se tiene planificado por parte del área de Transporte.

De acuerdo con lo manifestado se debe intervenir el control principal de la unidad para eliminar los inconvenientes que se generan, esto incide netamente en la migración a nuevas tecnologías de los elementos de adquisición de señales que vienen desde campo.

Los dispositivos que componen la red de control del PLC principal de la unidad de bombeo han cumplido su vida útil por lo cual están generando falsas señales que llevan a detener la unidad aun cuando no estén presentes alarmas críticas en el proceso de transporte. Mediante la migración de los módulos Flex I/O se eliminarán estas fallas aleatorias y además se actualizará el control acorde a las nuevas tecnologías.

Objetivo general

- Desarrollar la migración de los módulos Flex I/O en el PLC de una unidad principal en una estación de bombeo de crudo pesado.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la presente investigación son:

- Realizar la programación necesaria en el PLC principal acorde a los nuevos módulos a ser instalados.
- Adecuar el tablero de control de acuerdo a las dimensiones de los nuevos dispositivos a ser instalados.
- Realizar las pruebas de funcionamiento y puesta en marcha de la unidad principal de la estación de bombeo de crudo pesado.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos

El presente proyecto de investigación se realiza debido a la rápida evolución de las tecnologías en el ámbito de la electrónica y automatización, lo que permitirá desarrollar mayores habilidades de programación en PLCs y mejorar las técnicas de detección de fallas al personal de mantenimiento, además de que en las unidades principales de bombeo están en incremento las fallas que ocasionan paradas no programadas de bombeo, afectando los índices de cumplimiento de la estación.

El aporte del presente proyecto está dirigido a demostrar la factibilidad de realizar la migración de los módulos Flex I/O en una unidad de bombeo principal de crudo pesado, se utilizará el mismo PLC Allen Bradley (RS Logix 5000) en el cual solamente se modificará parte del software de programación y también las características de los nuevos módulos a ser utilizados.

Con la migración de los módulos Flex I/O que se plantea en esta investigación se obtendrá mejoras en cuanto a la operación de la unidad principal de bombeo, es decir, los índices de confiabilidad y mantenibilidad de la unidad volverán a sus valores permitidos, ya que por la obsolescencia de estos se producían paradas de bombeo por falsas alarmas, afectando así los planes de bombeo de crudo del oleoducto.

Los beneficiarios de este proyecto serán usuarios internos del Oleoducto que trabajan de manera directa e indirecta en la estación de bombeo, ya que se garantiza la operación confiable de la unidad principal permitiendo cumplir con la cuota de bombeo establecida en el plan de operaciones fijado por el área de Transporte. Adicional podemos mencionar que el presente proyecto servirá como guía para estudiantes del área de Electrónica y Automatización en cuanto a la programación de PLCs.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

El sistema de control de las unidades principales de bombeo del Oleoducto de Crudos Pesados consta de una tecnología que data del año 2002, en su totalidad desarrollada por Allen Bradley, la cual se encarga de monitorear las variables pertinentes de la unidad y procesarlas para asegurar la correcta operación, ampliando más el concepto, se tiene que dichos datos procesados son enviados hacia un PLC principal de la estación y a su vez mediante enlace de fibra óptica estos datos son enviados hacia el cuarto de control principal del oleoducto (MPCC) ubicado en la ciudad de Quito.

Como se manifestó anteriormente la tecnología utilizada data del año 2002 de la cual ha transcurrido 21 años y se empiezan a dar los primeros problemas de funcionamiento de los dispositivos asociados a la toma de datos para el PLC de la unidad principal. Es normal que luego de cumplir su ciclo de vida los dispositivos den señales de falla pero estas deben ser corregidas a tiempo para evitar paradas no programadas en las unidades. La migración de módulos Flex I/O permitirá actualizar el sistema a una tecnología nueva y a su vez garantizar la confiabilidad de las unidades principales de bombeo.

Dentro del campo de la automatización podemos mencionar que un automatismo es un sistema, el cual ejecuta ciertas tareas de forma automática cumpliendo a cabalidad con los parámetros que fue desarrollado. Tiene varios objetivos de entre los cuales podemos mencionar que se encarga de mejorar la eficiencia de los procesos al incrementar la velocidad con la que se ejecutan las tareas, disminuye los riesgos asociados al trabajador puesto que evita tareas peligrosas o complejas sean ejecutadas de forma manual. (PLC Automatización y Control Industrial, Pablo A. Daneri, 2008).

Al hablar de automatización nos vemos inmersos en el control de forma automática de diversos procesos industriales, basándonos en la utilización de sistemas electromecánicos. Dicho control abarca desde sistemas digitales, sistemas instrumentados, comunicaciones industriales, procesamiento de datos, producción y muchos más. El automatizar un proceso nos garantiza tener el control sobre el mismo y su comportamiento. ([https://ripipsacobots.com/automatizacion/.](https://ripipsacobots.com/automatizacion/), 2019)

La automatización debe tener la capacidad de controlar de forma adecuada los diversos problemas que puedan ocurrir sin afectar el resultado final del proceso. En la actualidad todos somos partícipes de los desarrollos de la automatización, el gran impacto que se tiene en el área

industrial, mecánica, informática, máquinas y programables. ([https://ripisacobots.com/automatizacion/.](https://ripisacobots.com/automatizacion/), 2019)

Por otra parte, la pirámide de automatización se compone de capas, en la cuales se ubican los niveles de automatización industrial necesarios para las operaciones industriales, basadas en las tecnologías de comunicación nuevas en el contexto de la arquitectura de la Industria 4.0. Además, esta propensión de larga data avala la eficiencia de producción, de gestión y financiera de compañías, corporaciones, multinacionales, etc. (Montes et al., 2021) (Körner et al., 2019) (Novák & Vyskocil, 2022).

En cuanto a estudios realizados por la Universidad Tecnológica ISRAEL en el área de la automatización podemos mencionar el trabajo realizado por Cortijo y Ramón (2023), con el título “Automatización del compresor de suministro de aire de instrumentos en la planta de generación wartsila”, el cual tuvo como objetivo automatizar el funcionamiento de un compresor de aire de la planta de generación, el mismo que estaba fuera de servicio por repuestos discontinuados, falta de interfaz HMI y además no contar con un respaldo del programa del PLC del equipo. Se consiguió resultados óptimos luego de culminar el trabajo puesto que el suministro de aire será el suficiente de acuerdo al consumo de la planta, mejor visualización de la información del proceso con el nuevo HMI.

También podemos mencionar el trabajo realizado por Albarracín y Oñate (2022), con el título “Automatización del sistema de corte de laminado para la empresa NOVACERO” en el cual se realizó la automatización del sistema de corte, el mismo que consistía en un sistema mecánico (volante – freno – embrague) y que al tener desgaste por su operación provocaba grandes tiempos de parada, al realizar el cambio a un sistema automático de cizalla start – stop se consiguió una reducción significativa de los tiempos de paro de la unidad. Además otro punto a favor luego de la implementación fue reducir el ruido producido por la maquinaria lo que incidía netamente en el operario, actualmente el nivel de confort en el operario es mejor puesto que el ruido se redujo considerablemente.

Un trabajo adicional que podemos mencionar es el realizado por Cortijo y Muñoz (2022), con el título “CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL MOTOR DE UN GENERADOR EN UNA TERMOELÉCTRICA DE SANTA ELENA”, en el cual se automatizó la lectura de la variable de temperatura de los gases de combustión, al inicio la toma de datos de la temperatura se lo hacía de forma manual, lo que podía generar errores por varias causas como por ejemplo: error humano por cansancio, ingreso erróneo de datos al sistema, etc., con la implementación del proyecto se automatizó la lectura de datos mediante la utilización de

termocuplas las mismas que enviaban su señal hacia un tablero HMI PROFACE. Luego de efectuada la implementación se obtuvieron varios beneficios, principalmente una lectura correcta y en tiempo real de la variable de temperatura de los gases de escape del motor, también el desarrollo de un entorno seguro para el operador puesto que se evita que se exponga a sitios peligrosos para la toma de datos.

1.2. Proceso investigativo metodológico

En este capítulo se revisan los aspectos metodológicos utilizados para implementar el presente proyecto de la MIGRACIÓN DE MÓDULOS FLEX I/O EN PLC DE UNIDAD PRINCIPAL EN UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO.

Figura 1

Ubicación de la estación de bombeo de crudo pesado



Fuente: Elaboración propia

Se utilizará investigación bibliográfica, puesto que nos permite la búsqueda y recopilación de información de varias fuentes como manuales de fabricantes, artículos científicos, libros técnicos acordes al área de automatización, además se contó con el asesoramiento de técnicos especializados externos a la empresa los mismos que aportaron con sugerencias para el desarrollo de este proyecto.

Por otra parte, también se utilizó una investigación cuantitativa en base a la recolección de datos e indicadores que marcan el ritmo de cumplimiento del caudal de bombeo establecido por el área de Transporte, siendo objeto de estudio también el análisis de la cantidad de paradas de bombeo ocasionadas por la falla en los módulos Flex I/O.

Para la recolección de datos nos basamos en los reportes diarios emitidos por el MPCC, en los cuales tenemos información relacionada al caudal de bombeo, unidades principales en operación, presión en cada una de las estaciones de bombeo, novedades e incidentes ocurridos en cada facilidad, etc., esta información recopilada a su vez es analizada por distintos departamentos, entre ellos mantenimiento, quienes hacen sus análisis respectivos y calculan los

diferentes indicadores de cada estación de bombeo, con lo cual se constató que la unidad principal de bombeo causa de este estudio presentaba problemas que hacían que los indicadores mencionados de confiabilidad y mantenibilidad se vean alterados de sus valores promedio.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Introducción.

Con la implementación del proyecto en estudio “MIGRACIÓN DE MÓDULOS FLEX I/O EN PLC DE UNIDAD PRINCIPAL EN UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO” se pretende obtener varios beneficios entre los cuales se menciona la actualización de nueva tecnología, mejoras en los indicadores de fiabilidad de la estación de bombeo, favoreciendo así el transporte de crudo en el oleoducto.

Debido a la obsolescencia y por el cumplimiento de la vida útil de ciertos componentes como los módulos 1797-ACNR15 / 1797-IRT8 / 1797-IE8, se pretende realizar la migración hacia módulos más actuales y con mayores beneficios para el sistema, los módulos que se utilizarán entre otros son 1719-AENTR / 1719-IF4HB / 1719-IBN8, se debe mencionar que la tecnología utilizada seguirá siendo Allen Bradley.

2.2 Fundamentos Teóricos aplicados

En esta sección daremos a conocer conceptos importantes para el desarrollo del proyecto:

Oleoducto

Un oleoducto es un conjunto de tuberías que tiene una gran extensión y cuya función principal es realizar el transporte de productos líquidos, desde un punto inicial también conocido como origen hasta su destino final o terminal.

Estas construcciones tuvieron su origen a la par de la industria petrolera, los datos revelan que en los Estados Unidos los orígenes de la industria del petróleo se produjeron entre 1865 y 1880, y conducían el crudo extraído de los campos petroleros hasta las refinerías o puertos de embarque. A nivel mundial existen infinidad de redes de oleoductos, los mismos que atraviesan distintas zonas geográficas y por ende están expuestos a condiciones climáticas diversas. (<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=833337>, 2015)

Como ejemplo podemos mencionar el Oleoducto de Crudos Pesados, mismo que tiene su origen en Lago Agrio en la región amazónica a una altitud de 300msnm., y una temperatura promedio de 37°C, continúa hacia la región interandina llegando a su punto más alto conocido como el sector de “La Virgen” a una altura promedio de 4000msnm., y por último llega hasta Puerto Balao en Esmeraldas a nivel del mar.

Estación de bombeo

Las estaciones de bombeo son un grupo de estructuras que consisten únicamente en una o más bombas. Cada bomba consta de un conjunto de tuberías y depósitos de bomba. Hay dos tipos de tuberías: de admisión y de escape. De esta forma, la tubería de succión absorbe el agua y luego la pasa por la tubería de descarga para distribuirla por toda la red. Específicamente, las estaciones de bombeo son ubicadas para mover agua a presión a puntos de menor o mayor altura (Proaño & Mantilla, 2018).

Unidad principal de bombeo

Equipo constituido por 3 elementos (motor a combustión, caja de engranajes y bomba) cuya función principal es impulsar el fluido que recibe hacia la siguiente estación de bombeo con las características específicas de caudal y presión.

Figura 2.

Unidades principales de la estación de bombeo de crudo pesado



Fuente: Elaboración propia

Sistema de control

El control automático es un sistema que interconecta elementos, en el cual su principal función es evitar al máximo la intervención del hombre, es decir, que un proceso pueda controlarse por sí mismo sin desviarse de su resultado final. (Introducción a los sistemas de control., Hernández Gaviño., 2010).

PLC ControlLogix

Un PLC se lo puede considerar como un pequeño CPU, el mismo que para poder funcionar debe estar montado sobre un rack y trabajar en conjunto con otros elementos como módulos de E/S, comunicaciones y una fuente de poder. En el caso de ControlLogix está diseñado de tal manera que cubre en gran manera la demanda generada en sectores como la minería, industria del oil&gas, alimentos y bebidas, generación de energía, etc., logrando gestionar procesos estándar y de seguridad en un mismo chasis. (<https://blog.precision.cl/automatizacion/controladores-y-automatizacion-la-versatilidad-de-controllogix#:~:text=ControlLogix%2C%20un%20controlador%20con%20experiencia&text=ControlLogix%20es%20un%20sistema%20modular,y%20una%20fuente%20de%20poder.,> 2023)

Figura 3.

PLC ControlLogix 5000 de Allen-Bradley



Fuente: Elaboración propia

Adaptador ControlNet Ex Redundante

El adaptador ControlNet Ex, combinado con los módulos de salida Flex Ex, proporciona un mecanismo de estado de falla de dos niveles. Es importante considerar y comprender el funcionamiento de este mecanismo al diseñar su sistema. Hay dos conjuntos de estado de falla programables disponibles, uno en el adaptador y otro en el módulo de salida. Este método de dos niveles está destinado a darle una cobertura mayor en cuanto a las fallas en comparación con los métodos normales. (1797-IN014H-EN-P-August 2017).

Figura 4.

Adaptador ControlNet Ex Redundante



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.

Comunicado emitido por Allen-Bradley



Allen-Bradley
by ROCKWELL AUTOMATION

Catalog #: 1797-ACNR15
FlexEx ControlNet Adaptor

Lifecycle status: ● DISCONTINUED

Rockwell Automation announces that as of December 31, 2017, the FlexEx ControlNet Adaptor will be discontinued and no longer available for sale. Customers are encouraged to remove references to the affected product(s).

Discontinued Date:	December 31, 2017
Replacement Category:	Engineering Replacement

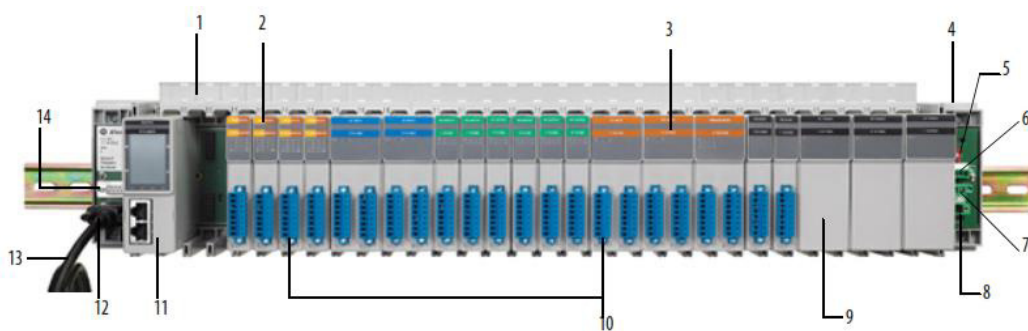
Fuente: Rockwell Automation

Adaptador Ethernet I/P 1719-AENTR

Un adaptador Ethernet es un medio de enlace entre los módulos de E/S y el controlador de un determinado proceso. En el caso del adaptador Ethernet I/P 1719-AENTR permite el enlace entre los diversos módulos de entrada/salida sean analógicos o digitales hacia el CPU del PLC principal. Este adaptador al igual que los diferentes módulos de E/S y fuentes de alimentación eléctrica deben enchufarse en las ranuras del backplane, la fuente de alimentación proporciona energía a los diversos módulos de E/S y adaptadores utilizados. (1719-UM001D-ES-E-Diciembre 2018).

Figura 6.

Descripción general de los componentes del 1719 Ex I/O



Descripción	Descripción
1 Portaetiquetas	8 Fuente de alimentación eléctrica de 24 V
2 Módulo de E/S (ancho normal)	9 Módulo de fuente de alimentación eléctrica
3 Módulo de E/S (ancho doble)	10 Conexiones de campo
4 Backplane (1719-A22)	11 Adaptador (1719-AENTR)
5 Selector de funciones	12 Conexión de extensión
6 Desactivación de las salidas de los módulos de E/S	13 Cable de extensión
7 Fuente de alimentación eléctrica de 24 V redundante	14 Interface de servicio

Fuente: (1719-UM001D-ES-E-Diciembre 2018).

En la figura 7 se da una descripción de los distintos módulos que se utilizaron en el presente proyecto.

Figura 7

Módulos 1719 Ex I/O

Módulos 1719 Ex I/O

Tipo	Número de catálogo	Descripción
Adaptador de comunicaciones	1719-AENTR	Ex I/O, adaptador EtherNet/IP
Entrada digital	1719-IJ	Ex I/O, contador de frecuencia
	1719-IBN8B	Ex I/O, 8 puntos de entradas digitales anchas NAMUR
	1719-IBN8	Ex I/O, 8 puntos de entradas digitales NAMUR
Entradas analógicas	1719-IF4HB	Ex I/O, 4 canales de entradas analógicas anchas HART
	1719-IR4B	Ex I/O, 4 canales de entradas de RTD
	1719-IT4B	Ex I/O, 4 canales de entradas de termopar
Entrada/salida analógica configurable	1719-CF4H	Ex I/O, 4 canales analógicos configurables HART
Salida digital	1719-OB2	Ex I/O, 2 puntos de salidas digitales de 23 V
	1719-OB2L	Ex I/O, 2 puntos de salidas digitales de 16.5 V
Fuente de alimentación eléctrica	1719-PSDC	Ex I/O, fuente de alimentación de CC
Backplane	1719-A22	Ex I/O, chasis de base de 22 ranuras
	1719-AB	Ex I/O, chasis de base de 8 ranuras
	1719-A24	Ex I/O, chasis de extensión de 24 ranuras
bloques de terminales	1719-TB6	Ex I/O, 6 polos con terminales de tornillo
	1719-TB6S	Ex I/O, 6 polos con terminales de resorte
	1719-TB8	Ex I/O, 8 polos con terminales de tornillo
	1719-TB8S	Ex I/O, 8 polos con terminales de resorte
	1719-TB8x2	Ex I/O, 2x8 polos con terminales de tornillo
	1719-TB8Sx2	Ex I/O, 2x8 polos con terminales de resorte
	1719-TB8x2SA	Ex I/O, 2x8 polos con terminales de resorte para 1719-IBN8
	1719-TB6F	Ex I/O, 6 polos con terminales de tornillo frontales
	1719-TB8F	Ex I/O, 8 polos con terminales de tornillo frontales
	1719-TB8x2F	Ex I/O, 2x8 polos con terminales de tornillo frontales
Cable de conexión	1719-CBL	Ex I/O, cable de extensión de chasis, 1 m
Indicador de posición	1719-ARM	Ex I/O, cubierta de ranura vacía

Fuente: (1719-UM001D-ES-E-Diciembre 2018).

Software Studio 5000

Cuando manejamos proyectos de control en base a PLC de la familia Logix 1756, el principal software para programación de los mismos es RSLogix5000 hasta la versión 20, a partir de la versión 21 utilizamos Studio 5000 el cual tiene similares características que RSLogix 5000, una herramienta sencilla de utilizar para configuración y programación de controladores, nos permite realizar trabajo en equipo para el desarrollo de aplicaciones y por ende reducir el tiempo de puesta de servicio de los proyectos ejecutados. (<https://www1.elvatron.com/software/software-studio-5000#:~:text=El%20Software%20RSLogix%205000%2F%20Studio,de%20variadores%20Powerflex%20y%20Kinetix.,> 2019).

Figura 8

Versión del software Studio 5000



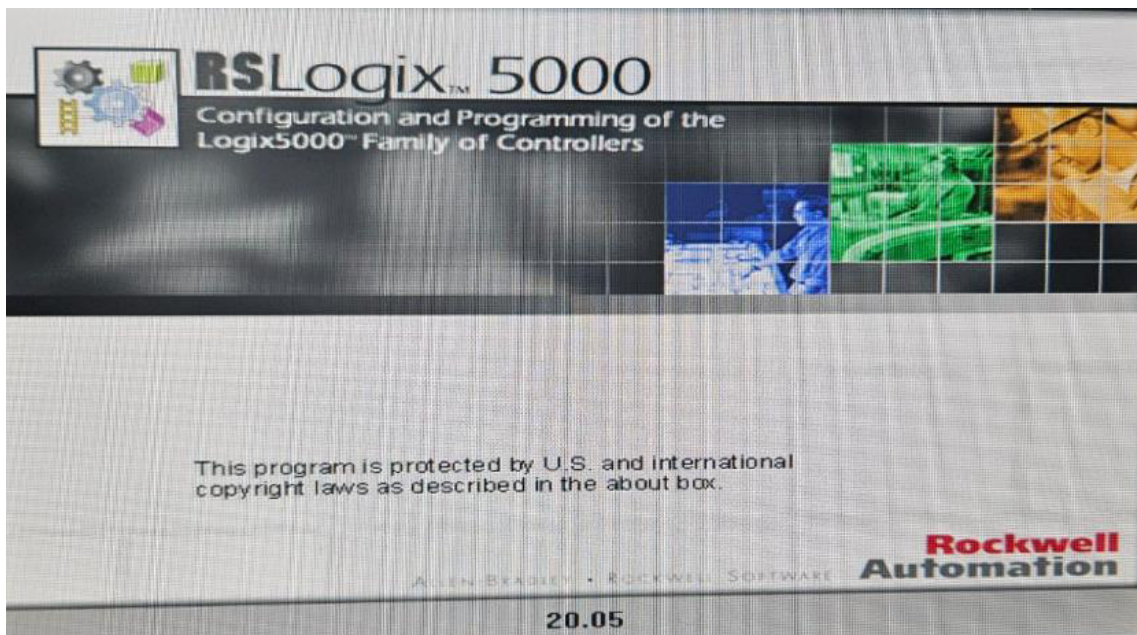
Fuente: Elaboración propia

RSLOGIX 5000 vs STUDIO 5000

De acuerdo con lo mencionado anteriormente a partir de la versión 21 ya no utilizamos el software RSLogix 5000, en su lugar empleamos el Studio 5000. Rockwell Software menciona que si adquiere una licencia a la fecha, la misma trabajará con todas las versiones de RSLogix 5000 / Studio 5000, incluyendo desde la primera hasta la última expedida al realizar la compra. (<https://www1.elvatron.com/software/software-studio-5000#:~:text=El%20Software%20RSLogix%205000%2F%20Studio,de%20variadores%20Powerflex%20y%20Kinetix.,> 2019).

Figura 9

Versión del software RSLogix 5000



Fuente: Elaboración propia

2.3 Descripción de la propuesta

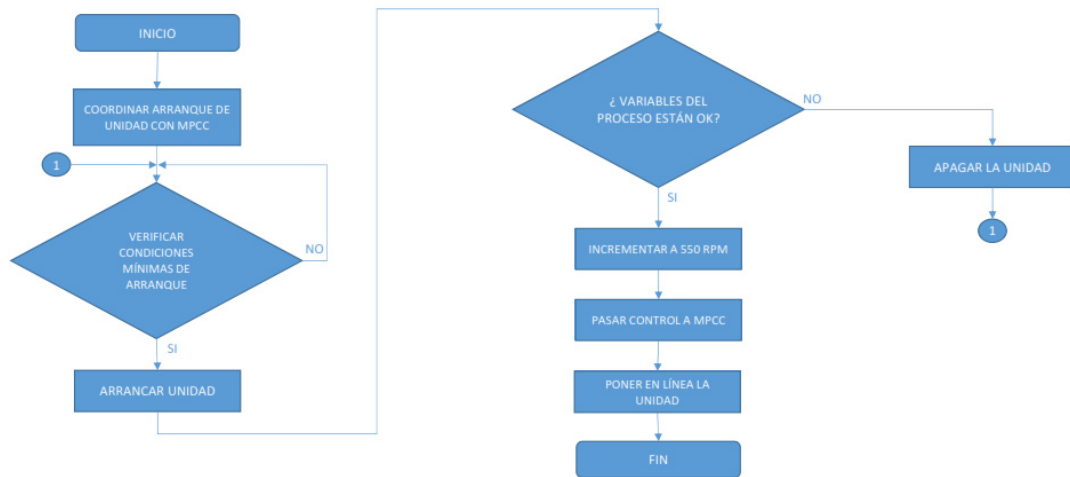
El presente proyecto es desarrollado con el fin de realizar la migración de los módulos Flex I/O de una unidad principal de la estación de bombeo del oleoducto de crudos pesados, en vista de que se tiene inconvenientes en el funcionamiento de la unidad, se dan paradas súbitas lo que causa interrupciones en el servicio de transporte de crudo, haciendo que el plan de levantes de bombeo no se cumpla en los tiempos planeados, así mismo, los indicadores correspondientes a la estación muestran que tanto la confiabilidad y la disponibilidad no son los deseados y por último se presenta dificultades en el área de mantenimiento al utilizar demasiado tiempo para resolver los problemas de funcionamiento de la unidad. Al culminar este proyecto se logrará actualizar el sistema de control de la unidad principal mediante la utilización de nueva tecnología y por ende también actualizar el conocimiento del personal del área de mantenimiento quienes serán los encargados de realizar futuras inspecciones y monitoreo del sistema de control utilizado.

2.3.1 Estructura general

La estructura del proyecto se presenta en la figura 10.

Figura 10.

Diagrama del proceso – Unidad principal de bombeo



Fuente: Elaboración propia

El diagrama del proceso que se indica en la figura 10 muestra la secuencia de arranque de la unidad principal de bombeo, en cada momento de funcionamiento desde el arranque de la unidad el monitoreo y adquisición de datos por el PLC es constante lo que garantiza el correcto funcionamiento de la misma, en caso de que las variables que intervienen en el proceso no estén acordes al mismo la unidad de bombeo se apagará para hacer una revisión minuciosa y determinar si la desviación de parámetros es por el mismo proceso o si es falla en la adquisición de datos hacia el PLC.

2.3.2 Explicación del aporte

Los diferentes equipos y elementos que forman parte de este proyecto cumplen una determinada función, la cual en conjunto permite el óptimo funcionamiento del sistema de control de la unidad principal en la estación de bombeo de crudo pesado, las mejoras planteadas con el presente proyecto a la unidad principal permitirán reducir las paradas no programadas de bombeo a causa de las fallas ocurridas en el sistema de control por el deterioro de los módulos Flex I/O debido a que han cumplido su vida útil de trabajo. A continuación una explicación de cada elemento que forma parte de este proyecto.

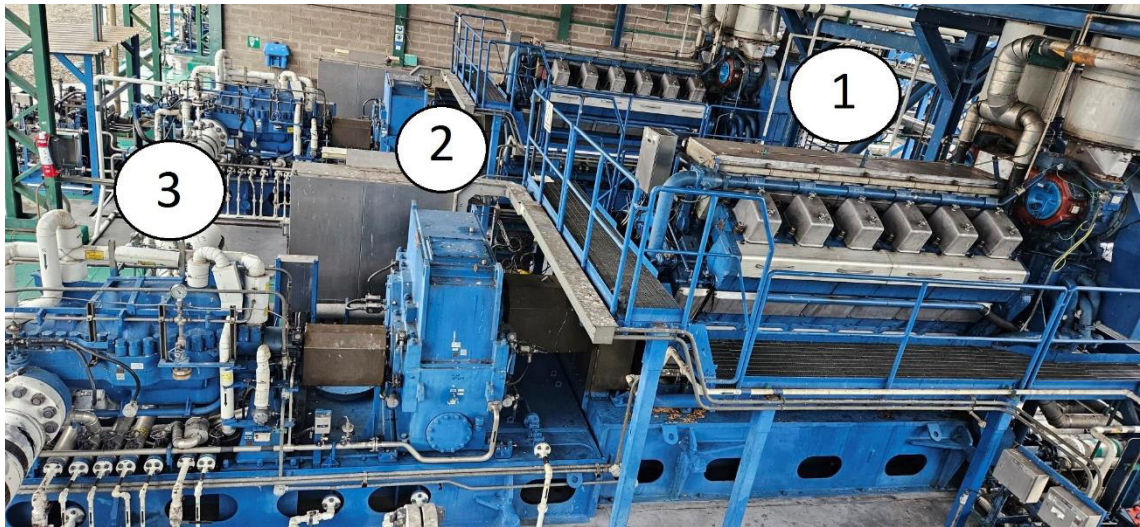
A. Unidad principal de bombeo

Equipo constituido por 3 elementos (motor a combustión, caja de engranajes y bomba) cuya función principal es impulsar el fluido que recibe hacia la siguiente estación de bombeo con las

características específicas de caudal y presión. La unidad principal de bombeo y sus partes se indican en la figura 11.

Figura 11

Unidad principal de estación de bombeo de crudo pesado



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1 se describen los componentes indicados en la figura 11.

Tabla 1.

Componentes de la unidad principal de una estación de bombeo de crudo pesado

ÍTEM	COMPONENTE	FUNCIÓN
1	Motor a combustión WARTSILA	Generar movimiento mecánico para accionamiento de la bomba
2	Caja de engranajes LUFKIN	Incrementar el número de "rpm" para accionamiento de la bomba
3	Bomba SULZER	Impulsar el crudo pesado hacia la siguiente estación de bombeo

Fuente: Elaboración propia

B. PLC ControlLogix

Un PLC se lo puede considerar como un pequeño CPU, el mismo que para poder funcionar debe estar montado sobre un rack y trabajar en conjunto con otros elementos como módulos de E/S, comunicaciones y una fuente de poder. En el caso de ControlLogix está diseñado de tal manera que cubre en gran manera la demanda generada en sectores como la minería, industria del oil&gas, alimentos y bebidas, generación de energía, etc., logrando gestionar procesos estándar y de seguridad en un mismo chasis. (<https://blog.precision.cl/automatizacion/controladores-y-automatizacion-la-versatilidad-de-controllogix#:~:text=ControlLogix%2C%20un%20controlador%20con%20experiencia&text=ControlLogix%20es%20un%20sistema%20modular,y%20una%20fuente%20de%20poder.,> 2023).

C. Adaptador Ethernet I/P 1719-AENTR

Un adaptador Ethernet es un medio de enlace entre los módulos de E/S y el controlador de un determinado proceso. En el caso del adaptador Ethernet I/P 1719-AENTR permite el enlace entre los diversos módulos de entrada/salida sean analógicos o digitales hacia el CPU del PLC principal. Este adaptador al igual que los diferentes módulos de E/S y fuentes de alimentación eléctrica deben enchufarse en las ranuras del backplane, la fuente de alimentación proporciona energía a los diversos módulos de E/S y adaptadores utilizados. (1719-UM001D-ES-E-Diciembre 2018).

D. Módulo 1719-IBN8

Para poder llevar las diferentes señales de campo hacia los sistemas de control de procesos en un sistema automático se utilizan dispositivos que modifican las señales de ser el caso y actúan como interfaces, dichos dispositivos se los conoce como módulos de E/S y deben enchufarse en las ranuras del backplane al igual que los adaptadores y fuentes de poder. El módulo indicado cumple con las características de entrada digital y sus características se indican en la figura 12.

Figura 12.

Características del módulo 1719-IBN8

Entrada digital		
1719-IJ	El dispositivo acepta señales de entrada digital de sensores NAMUR o contactos mecánicos provenientes de la zona peligrosa.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 canal (1719-IJ); 8 canales (1719-IBN8B, 1719-IBN8) • Entrada Ex ia • Entrada para frecuencia, contador, dirección de rotación (1719-IJ) • Entrada digital máx. 15 kHz (1719-IJ) • Entradas de contactos secos o NAMUR (1719-IBN8B, 1719-IBN8) • Instalación en Zona 2 o Clase I, Div. 2 o zona segura • Se puede seleccionar la lógica positiva o negativa • Modo de simulación para operaciones de servicio (forzado) (1719-IBN8B, 1719-IBN8) • Detección de fallos de línea (LFD) • Automonitoreo permanente • Permite el montaje horizontal o vertical en Zona 2⁽¹⁾ • Se puede cambiar el módulo con el voltaje activado en zonas no peligrosas
1719-IBN8B	Se detectan fallos de línea de circuito abierto y de cortocircuito.	
1719-IBN8	Las entradas intrínsecamente seguras se aíslan galvánicamente del bus y la fuente de alimentación eléctrica.	

Fuente: (1719-TD001D-ES-E-Diciembre 2018).



Fuente: Rockwell Automation

E. Módulo 1719-OB2

El módulo en mención tiene la función de salida digital, sus características se indican en la figura 13.

Figura 13

Características del módulo 1719-OB2

<p>1719-OB2 1719-OB2L</p>	<p>La salida digital cuenta con dos canales independientes. Se puede usar el dispositivo para hacer funcionar solenoides, alarmas sonoras o LEDs. Se detectan fallos de línea de circuito abierto y cortocircuito en el estado activado y desactivado. Las salidas intrínsecamente seguras se aíslan galvánicamente del bus y la fuente de alimentación eléctrica. Se puede desactivar la salida mediante un contacto. Puede emplearse para aplicaciones de seguridad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Salidas Ex ia • Instalación en Zona 2 o Clase I, Div. 2 o zona segura • 2 canales • Detección de fallos de línea (LFD): un LED por canal • Se puede seleccionar la lógica positiva o negativa • Modo de simulación para operaciones de servicio (forzado) • Automonitoreo permanente • Salida con función de desactivación • Se puede configurar en el modo de alta corriente. • Permite el montaje horizontal o vertical en Zona 2⁽¹⁾ • Se puede cambiar el módulo con el voltaje activado en zonas no peligrosas
-------------------------------	--	---

Fuente: (1719-TD001D-ES-E-Diciembre 2018).



Fuente: Rockwell Automation

F. Módulo 1719-IR4B

El módulo en mención tiene la función de entrada analógica para señal de RTD de 2, 3 y 4 hilos (Pt 100...Pt 1000), sus características se indican en la figura 14.

Figura 14.

Características del módulo 1719-IR4B

1719-IF4HB	<p>La fuente de alimentación eléctrica del transmisor alimenta transmisores de 2 hilos. Se pueden conectar señales activas de dispositivos de campo alimentados independientemente y transmisores de 4 hilos. Se detectan fallos de línea de circuito abierto y de cortocircuito. Las entradas intrínsecamente seguras se aíslan galvánicamente del bus y la fuente de alimentación eléctrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 4 canales • Entradas Ex ia • Fuente de alimentación eléctrica para transmisores de 2 hilos con 4 mA...20 mA (1719-IF4HB) • Convertidor para RTDs de 2, 3 y 4 hilos (Pt100...Pt1000), sensores de cursor, etc. (1719-IR4B) • Convertidor para termopares y señales mV (1719-IT4B)
1719-IR4B	<p>El convertidor RTD acepta señales RTD de 2, 3 y 4 hilos (Pt100... Pt1000) y sensores de cursor provenientes del campo. También se pueden conectar Ni100 a Ni1000. Se detectan fallos de línea de circuito abierto y de cortocircuito. Las entradas intrínsecamente seguras se aíslan galvánicamente del bus y la fuente de alimentación eléctrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito de fuente de alim. de 15 V (20 mA) (1719-IF4HB) • Entrada de señales activas de transmisores de 4 hilos (1719-IF4HB) • Instalación en Zona 2 o Clase I, Div. 2 o zona segura • Comunicación HART (1719-IF4HB) • Detección de fallos de línea (LFD) (1719-IF4HB, 1719-IR4B, 1719-IT4B): un LED por canal (1719-IF4HB)
1719-IT4B	<p>El convertidor del termopar acepta el termopar o señales mV del campo. Se detectan alarmas de fallo de línea de circuito abierto. Las entradas intrínsecamente seguras se aíslan galvánicamente del bus y la fuente de alimentación eléctrica. Existe un aislamiento funcional entre los canales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Automonitoreo permanente • Permite el montaje horizontal o vertical en Zona 2⁽¹⁾ • Se puede cambiar el módulo con el voltaje activado en zonas no peligrosas

Fuente: (1719-TD001D-ES-E-Diciembre 2018).



Fuente: Rockwell Automation.

G. Módulo 1719-CF4H

El módulo en mención tiene la función de entrada / salida analógica configurable, sus características se indican en la figura 15.

Figura 15.

Características del módulo 1719-CF4H

1719-CF4H	<p>El dispositivo es un módulo de salida de entrada analógica/salida analógica configurable. El módulo puede funcionar en los modos siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Como entrada analógica (AI) alimenta transmisores de 2 hilos. • Como salida analógica (AO) puede hacer funcionar válvulas proporcionales, convertidores I/P o indicadores locales. <p>Las entradas intrínsecamente seguras se aíslan galvánicamente del bus y la fuente de alimentación eléctrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 4 canales • Entradas Ex ia, salidas Ex ia • Instalación en Zona 2 o Clase I, Div. 2 o zona segura • Entrada analógica, salida analógica • Circuito de fuente de alim. eléctrica de 21.5 V (4 mA) • Comunicación HART • Detección de fallos de línea (LFD): un LED por canal • Automonitoreo permanente • Permite el montaje horizontal o vertical en la zona 2⁽¹⁾ • Se puede cambiar el módulo con el voltaje activado en zonas no peligrosas
-----------	---	---

Fuente: (1719-TD001D-ES-E-Diciembre 2018).



Fuente: Rockwell Automation

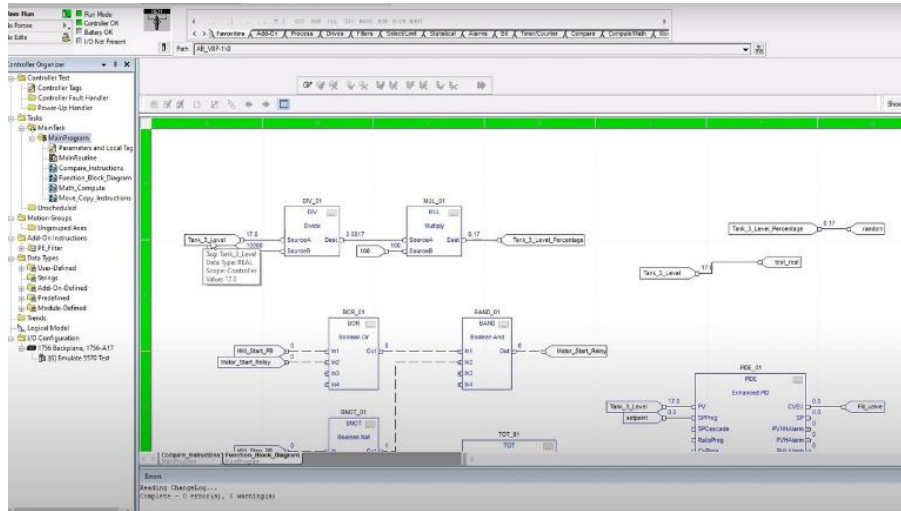
H. STUDIO 5000

Cuando manejamos proyectos de control en base a PLC de la familia Logix 1756, el principal software para programación de los mismos es RSLogix5000 hasta la versión 20, a partir de la versión 21 utilizamos Studio 5000 el cual tiene similares características que RSLogix 5000, una herramienta sencilla de utilizar para configuración y programación de controladores, nos permite realizar trabajo en equipo para el desarrollo de aplicaciones y por ende reducir el tiempo de puesta de servicio de los proyectos ejecutados. (<https://www1.elvatron.com/software/software-studio->

5000#:~:text=El%20Software%20RSLogix%205000%2F%20Studio,de%20variadores%20Powerflex%20y%20Kinetix., 2019).

Figura 16.

Pantalla de programación del STUDIO 5000



Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 podemos observar un diagrama de bloques con la propuesta implementada del proyecto, con lo cual se tiene una mejor visualización y comprensión del trabajo implementado.

Figura 17.

Representación del conexionado



Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Estrategias y/o técnicas

En el desarrollo del presente proyecto se utilizaron las técnicas que se detallan a continuación

Fase I. Reconocimiento del equipo

Para el desarrollo de esta fase se utilizaron los planos eléctricos de la unidad motivo de este estudio, se verifica en el tablero de control principal la ubicación de los módulos Flex I/O originales y en base a esto se determina si los nuevos módulos a usar ocuparán el mismo espacio o se deberá modificar ciertas partes del tablero.

Fase II. Selección de los equipos y dispositivos

Una vez verificado los planos eléctricos y también haber comprobado que los módulos Flex I/O están descontinuados por parte del fabricante, mediante el asesoramiento del personal del área de mantenimiento predictivo en redes industriales, personal técnico del representante local de Rockwell Automation, se seleccionan los módulos nuevos a ser utilizados en el presente proyecto.

Fase III. Implementación del sistema eléctrico

Una vez verificado los planos eléctricos, comprobadas también las dimensiones de los nuevos módulos a utilizarse y verificando que el cableado eléctrico original tiene las longitudes adecuadas para utilizarse, se procede a realizar el conexionado respectivo de cada una de las señales de campo hacia los nuevos módulos instalados.

Fase IV. Programación del PLC

En esta fase debe aclararse que la única modificación realizada en el programa del PLC fue la modificación de los parámetros de los nuevos módulos a ser utilizados, el programa original fue migrado de la versión del RSLogix 5000 hacia el STUDIO 5000 lo cual no causa ningún inconveniente puesto que es un software del mismo fabricante Rockwell Automation.

Fase V. Pruebas de funcionamiento

Una vez concluidas las conexiones eléctricas en el tablero de control de la unidad principal de bombeo, se procede a realizar diferentes pruebas operativas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control, entre las pruebas se menciona:

- Verificación de adquisición de datos mediante los nuevos módulos instalados hacia el PLC principal.
- Simulación de señales en los diferentes transmisores de temperatura, presión y caudal utilizados en la unidad principal de bombeo para comprobar su señal hacia el PLC y en el LHMI de la estación de bombeo de crudo pesado.
- Simulación de las diferentes señales digitales de ingreso/salida para verificar el accionamiento adecuado de alarmas y señales de stop.
- Simulación de señal de salida analógica para el control de velocidad de la unidad principal de bombeo.

Cada una de las simulaciones realizadas dio resultados satisfactorios lo que garantiza que el trabajo realizado fue ejecutado de muy buena manera y por ende la operación de la unidad.

2.4 Validación de la propuesta

Para la elección de especialistas se ha considerado un perfil acorde a los siguientes criterios: formación académica relacionada con el tema investigativo, experiencia laboral orientada a la gestión administrativa y motivación para participar. La siguiente tabla presenta información detallada de los actores seleccionados para la validación del modelo.

Tabla 2.

Perfil de validadores

Nombres y apellidos	Años de experiencia	Titulación académica	Cargo
Carlos Adriano	20 años	MG. Gestión de Mantenimiento Industrial	Superintendente de Mantenimiento
José Luis Fierro	15 años	Ing. Eléctrico	Ing. En Mnto Predictivo en Redes Industriales
Wilson Gómez	20 años	Ing. Electrónico	Ing. SCADA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.

Criterios de valuación

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública
Calidad Técnica	Mide los atributos cualitativos del contenido de la propuesta
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.

Escala de evaluación (Carlos Adriano)

CRITERIOS	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad				X	
Conceptualización				X	
Actualidad				X	
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.

Escala de evaluación (José Luis Fierro)

CRITERIOS	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad				X	
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.

Escala de evaluación (Wilson Gómez)

CRITERIOS	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Fuente: Elaboración propia

2.5 Matriz de articulación de la propuesta

En la presente matriz se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

Tabla 7

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto		Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1	Migración de módulos Flex I/O en unidad principal de bombeo,	La migración hacia los nuevos módulos de I/O permite actualizar la tecnología utilizada para el control de la unidad principal de bombeo, además minimiza las paradas no programadas por fallas aleatorias.	Matemáticas Aplicadas Comunicaciones Dedicadas Electrónica Control Industrial	Investigación de elementos nuevos y discontinuados que tiene el fabricante, asesoramiento con personal de soporte técnico externo y personal del área de mantenimiento de la empresa.
2	Programación en PLC de nuevos módulos de I/O instalados	La modificación de parámetros de los nuevos módulos utilizados se realiza acorde a lo indicado por el fabricante, el nuevo software utilizado da las facilidades necesarias para el desarrollo.	Programación de PLC Comunicaciones industriales	Software de programación proporcionados por el fabricante

3	Readecuación de panel principal para instalación de nuevos módulos, modificación de acometidas de sensores, transmisores, etc., pruebas operativas de unidad principal de bombeo	El panel tiene las medidas adecuadas para acoger los nuevos módulos instalados, las acometidas de los sensores se reutilizan ya que están en buenas condiciones y con longitudes apropiadas, las pruebas funcionales se realizan en conjunto con el cuarto de control dando excelentes resultados.	Cableado estructurado Comunicaciones industriales	Técnicas de cableado para señales de control, manual de operación de unidades principales de bombeo
---	--	--	--	---

2.6 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

Con el desarrollo e implementación de este trabajo de titulación se realiza la migración de los módulos Flex I/O de la unidad principal en una estación de bombeo de crudo pesado, con lo cual se consigue aumentar la confiabilidad al minimizar las paradas no programadas de bombeo por fallas aleatorias en los antiguos módulos utilizados.

Con la migración realizada se consiguieron varias mejoras para la estación de bombeo, entre ellas podemos mencionar que se actualizó los componentes del tablero de control de la unidad principal hacia una nueva tecnología, se realizó la capacitación del personal de operaciones y mantenimiento de la estación para que puedan manejar un nuevo software de programación de PLC. A continuación se muestra en secuencia gráfica el trabajo desarrollado en el tablero de la unidad principal de la estación de bombeo de crudo pesado.

Figura 18.

Tablero de control con módulos Flex I/O antiguos.

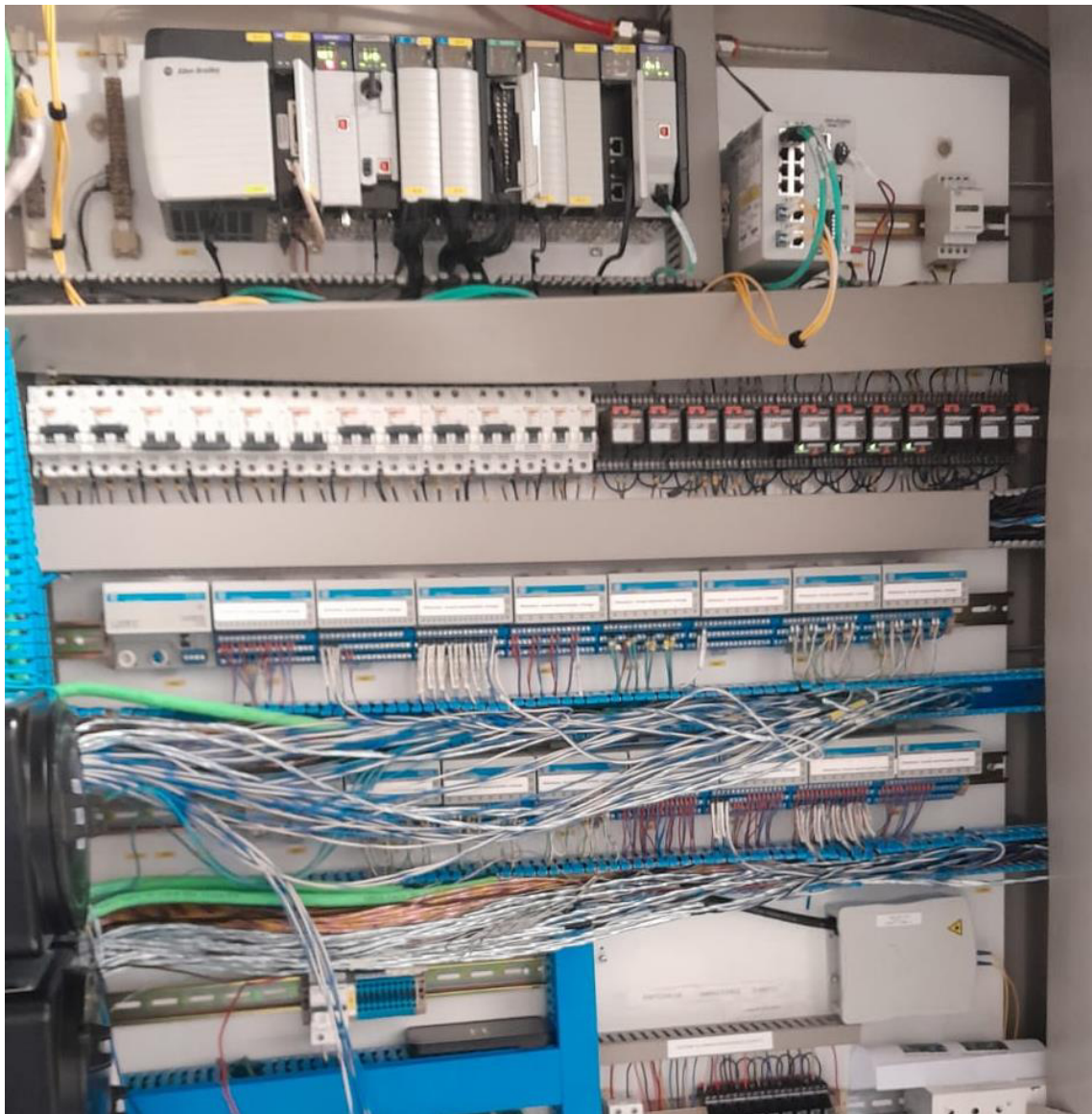


Fuente: Elaboración propia

Para realizar el presente trabajo se contó con la colaboración del personal de mantenimiento predictivo en redes industriales, los mismos que lo ejecutaron teniendo especial cuidado al momento de realizar la desconexión de las acometidas que vienen desde campo, se tomó especial precaución en realizar el debido etiquetado para evitar cometer errores de conexión al momento de instalar los nuevos módulos. En la figura 19 se muestra el inicio del trabajo.

Figura 19.

Desconexión de acometidas de control.

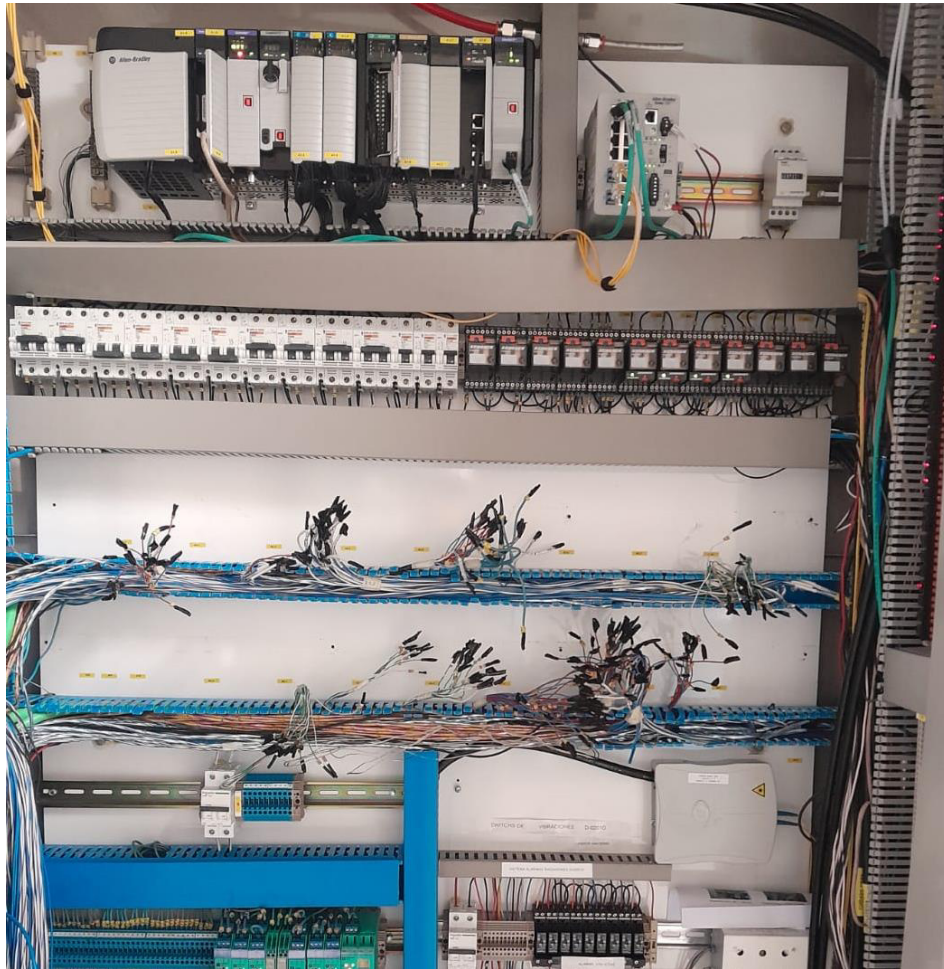


Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 podemos observar el tablero de control en el que ya se retiraron los módulos Flex I/O antiguos

Figura 20.

Tablero de control ya retirados los antiguos módulos Flex I/O

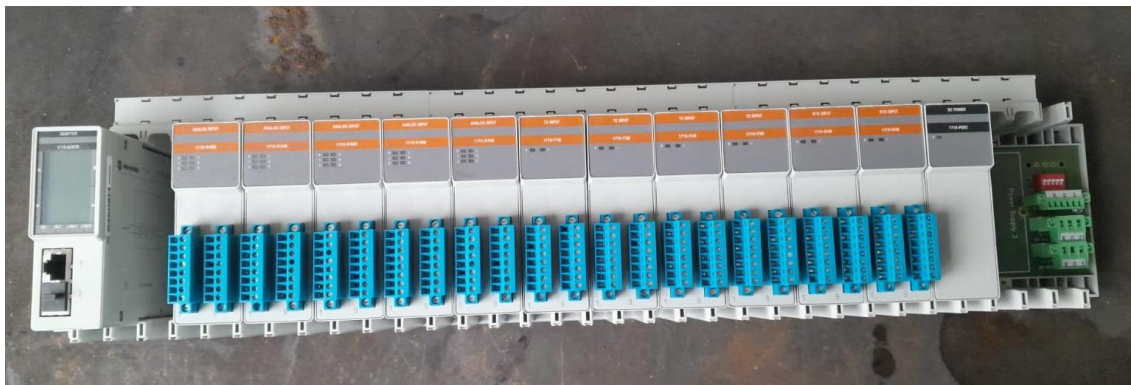


Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se puede observar los rack que contienen los nuevos módulos Flex I/O que se instalaron en el tablero de control de la unidad principal.

Figura 21.

Nuevos módulos Flex I/O a ser instalados



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22.

Tablero de control con módulos Flex I/O nuevos.



Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas de funcionamiento tuvieron buenos resultados, la adquisición de datos se realiza en tiempo real sin inconvenientes, las simulaciones efectuadas para verificar niveles de alarma y shutdown de la unidad cumplieron su propósito. El trabajo detallado tuvo ciertos inconvenientes en su ejecución, de los cuales el principal fue la demora en obtener los repuestos necesarios indicados por el fabricante, puesto que debían ser importados y el conflicto bélico entre Ucrania y Rusia causaron largos tiempos de espera para tener en sitio los repuestos utilizados. Para futuros trabajos similares se debe realizar el pedido de repuestos con anticipación para evitar este inconveniente, al momento ya tenemos un antecedente de que los módulos Flex I/O del resto de unidades principales están llegando al límite de su vida útil, con lo cual debemos anticiparnos para evitar inconvenientes de este tipo.

CONCLUSIONES

Al implementar el presente trabajo se consiguió realizar la migración de los módulos Flex I/O de la unidad principal de una estación de bombeo de crudo pesado, la migración permitió actualizar el sistema de control acorde a las tecnologías modernas, utilizando los dispositivos más actuales sugeridos por el fabricante Rockwell Automation. Este trabajo además favoreció el rendimiento de la estación de bombeo al mejorar sus indicadores de confiabilidad.

El manejo – programación del PLC es otro objetivo que se consiguió, puesto que al actualizar los módulos Flex I/O a una nueva tecnología también se debió utilizar un nuevo software para manejo del PLC, esto favoreció al personal de mantenimiento ya que se realizó la capacitación debida acerca de la utilización del software STUDIO 5000.

Los nuevos módulos Flex I/O que se utilizaron además de poseer otras características en cuanto a software, tenían dimensiones físicas diferentes a los módulos antiguos, se realizaron ciertas modificaciones en el área física del tablero para que los nuevos dispositivos no se vean mayormente afectados por falta de espacio. Las acometidas de control originales del tablero se continúan utilizando ya que se encuentran en buenas condiciones y sus longitudes eran suficientes para las conexiones pertinentes hacia los nuevos módulos.

Al culminar el trabajo de migración de los módulos Flex I/O y verificado que las diferentes señales de campo son adquiridas por el PLC de manera adecuada, se procedió con las pruebas operativas de la unidad principal de bombeo en conjunto con el cuarto de control principal (MPCC) ubicado en Quito, se encendió localmente la unidad para comprobar que la operación se encuentre dentro de los parámetros normales, superada esta etapa se indica al MPCC que asuma el control total de la unidad y ponga en línea al equipo, es decir, que la unidad principal opere aportando el caudal necesario al oleoducto. Las pruebas respectivas dan resultados satisfactorios, el control no se ve afectado de ninguna manera y por consiguiente la unidad principal queda operativa en su totalidad.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo experimentado al realizar el presente trabajo, se debe planificar con la debida anticipación la migración de los módulos Flex I/O del resto de unidades principales de la estación de bombeo de crudo pesado, puesto que han pasado 22 años de su puesta en servicio y el tiempo de vida de los dispositivos está llegando a su fin, con esto se evitará caer en fallas aleatorias que causen paradas no programadas de bombeo y por consiguiente pérdida de tiempo por parte del personal de mantenimiento.

El personal del área de mantenimiento debe estar capacitado en cuanto al manejo y programación de PLC, en este trabajo se debió implementar un nuevo software de programación mismo que difiere en ciertos puntos respecto al software anteriormente utilizado, es recomendable que el personal de mantenimiento del resto de estaciones de bombeo también se capacite en el manejo de software STUDIO 5000.

Al concluir el presente trabajo de titulación se realizó ciertas modificaciones en el área física del panel de control, así como también algunas modificaciones en cuanto a las conexiones de acometidas hacia los nuevos módulos utilizados, dichas modificaciones deben ser actualizadas en los respectivos planos eléctricos para evitar confusiones por parte del personal de mantenimiento al momento que deban realizar tareas en el tablero de control.

Toda prueba operativa a ser realizada en campo siempre debe tener la coordinación respectiva con el MPCC en Quito, esto con el objetivo de evitar operaciones indeseadas que pueden afectar a los caudales de bombeo circulantes por el oleoducto, los mismos que al no ser manejados adecuadamente pueden causar sobrepresiones y en casos extremos hasta roturas del oleoducto.

BIBLIOGRAFÍA

Daneri, P. (2009). PLC: Automatización y Control Industrial

Olivia, N. (2013). Redes de Comunicaciones Industriales

Ecuador(BCE), (2021). Reporte del Sector Petrolero II Trimestre del 2021.

Muñoz, J., Muñoz, L., Rivera, C., (2014). Control automático I: estategias de control clásico.

Villalobos, O., Rico, R., Ortiz, F., Montúfar, M., (2006). Medición y Control de Procesos Industriales.

Canto, C. (2018). Automatización: conceptos generales. Facultad de ciencias. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Balseca, J., Castro, B., (2019). AUTOMATIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO LA PENÍNSULA EP-EMAPA-A, PARA UN USO EFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO Y DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA. [BachelorTesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/21212>

Muñoz, E., Cortijo, R., (2022). CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURAS DE COMBUSTIÓN INTERNA DE UN MOTOR DE UN GENERADOR EN LA TERMOELÉCTRICA DE SANTA ELENA. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3330>

Oñate, J., Albarracín, W., (2022). AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CORTE DE LAMINADO PARA LA EMPRESA NOVACERO. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3387>

Automatización de procesos en la industria petrolera (agosto 22 del 2023), Registrado desde:

<https://revistaseguridad360.com/noticias/comunicaciones/industria/>

Automatización (RIPIPSA 2019), Registrado desde:

<https://ripipsacobots.com/automatizacion/>

Rockwell Software. Publicación 1719-TD001D-ES-E – Diciembre 2018, Registrado desde: <http://www.rockwellautomation.com/literature/>

Rockwell Software. Publicación 1719-UM001D-ES-E – Diciembre 2018, Registrado desde: <http://www.rockwellautomation.com/literature/>

Rockwell Software. Publicación MOTION-RM002K-ES-P – Marzo 2022, Registrado desde:
<http://www.rockwellautomation.com/literature/>

ANEXOS

ANEXO 1

ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO 1797-ACNR15

1797-ACNR15 Specifications	
Output (Intrinsically Safe) (16 Position Male/female Flexbus Connector)	$U_o \leq 5.4V$ dc $I_o \leq 400$ mA $P_n \leq 2.16$ W $L_o \leq 10$ μ H $C_o \leq 65$ μ F
Isolation Path Flexbus to Power Supply Flexbus to ControlNet ControlNet Ex Node to Other Node ControlNet Ex to Power Supply	Galvanic to DIN EN 60079-11 Galvanic functional Galvanic functional Galvanic to DIN EN 60079-11
Power Supply (+V, -V Intrinsically Safe)	$U_i \leq 9.5V$ dc $I_i \leq 1$ A $P_i \leq 9.5$ W $L_i =$ Negligible $C_i \leq 120$ nF
Power Consumption	8.5 W
Power Dissipation	8.5 W
Thermal Dissipation	29 BTU/hr
Conductor Wire Size	4 mm ² (12 gauge) stranded max. 1.2 mm (3/64 in.) insulation max.
Weight	Approximately 200 g
Environmental Conditions	
Operational Temperature	-20...70 °C (-4...158 °F)
Storage Temperature	-40...85 °C (-40...185 °F)
Relative Humidity	5...95% noncondensing
Shock	Operating Nonoperating
Vibration	Tested 15 g peak acceleration, 11 (\pm 1) ms pulse width Tested 15 g peak acceleration, 11 (\pm 1) ms pulse width Tested 2 g @ 10...500 Hz per IEC 68-2-6
Agency Certification	
CENELEC UL, C-UL	II 2G Ex ib IIC T4 Class I, Groups A, B, C and D; Class II, Groups E, F and G; Class III Hazardous Locations Class I, Zone 1, AEx ib IIC T4
FM	Intrinsically safe Class I, Div 1, Groups A, B, C, D, T4 Associated Apparatus with intrinsically safe connections Class I, II, III, Div 1, Groups A-G Intrinsically safe Class I, Zone 1, AEx ib IIC T4
INMETRO IECEX	BR-Ex ib IB/IC T4 Ex ib IIC T4

1797-ACNR15 Specifications	
I/O Capacity	8 modules
IS Media Type	Ex ib IIB/IIC T4, AEx ib IIC T4, Class I, Division 1 Groups A-G T4
IS Module Type	Ex ib IIB/IIC T4, AEx ib IIC T4, Class I Division 1 Groups A-D T4
Communication Rate	5 Mbps
ControlNet Ex BNC (ChA and ChB)	Oscillation powered by: $U_0 \leq 5.4V$ dc $I_0 \leq 160$ mA ac coupled with high-pass filter $f_c \geq 500$ kHz
Indicators	Comm Ared/grn Comm Bred/grn Module Statusred/grn Powergrn

ANEXO 2

ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO 1797-ACNR15

Atributo	1719-AENTR
Fuente de alimentación eléctrica	
Conexión	Bus de backplane
Voltaje nominal U_n	Use solo en conexión con el módulo de fuente de alimentación eléctrica 1719-PSDC
Disipación de potencia	3.9 W
Consumo de energía	3.9 W
Interface Fieldbus	
Tipo de Fieldbus	EtherNet/IP
Interface Ethernet	
Tipo de conexión	RJ-45, por medio del conector frontal
Velocidad de transferencia, máx.	Full-duplex 10 Mbps; full-duplex 100 Mbps; half-duplex 100 Mbps
Conexión de estación	Directamente al PCS o PLC o mediante hubs o interruptores
Longitud del bus	≤ 100 m (≤ 328 pies) (cable CAT 7) SF/UTP de conformidad con ISO/IEC 11801
Direccionamiento	Dirección IP asignada por medio de Ethernet
Dirección Ethernet	Dirección IP V4 (estándar ex fábrica: 0.0.0.0, IP automático, DHCP)
Módulos de E/S compatibles	Todos los módulos de E/S remotos 1719
Comunicación HART	Por medio de Ethernet
Bus interno	
Conexión	Bus de backplane

Artículo 1719-15

Atributo	1719-AENTR
Indicadores/ajustes	
Indicador LED	<p>LED OK (estado de adaptador):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desactivado fijo: No hay alimentación – El adaptador no tiene alimentación eléctrica. • Verde fijo: Adaptador y rack operacionales – El adaptador y todos los módulos en el rack están operando sin fallos. • Rojo fijo: Fallo – Hay por lo menos un módulo en el rack que ha detectado un fallo. Vea el visor o los otros módulos en el rack para determinar la condición del indicador de estado. • Verde/rojo parpadeante: Autoprueba – El adaptador se está inicializando o está proporcionando alimentación eléctrica a las autopruebas. <p>LED NET (estado de la red):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desactivado fijo: No hay alimentación, no hay una dirección IP – El adaptador no tiene alimentación eléctrica o no se ha asignado u obtenido una dirección IP. • Verde fijo: Conectado – El adaptador tiene por lo menos una conexión establecida (a sí mismo o a un módulo de E/S). • Verde parpadeante: No hay conexiones – El adaptador tiene una dirección IP, pero no hay conexiones establecidas (a sí mismo o a un módulo de E/S). • Rojo parpadeante: Tiempo de espera de la conexión – Una o más de las conexiones (a sí misma o a un módulo de E/S) ha sobrepasado el tiempo de espera. • Rojo fijo: IP duplicado – El adaptador ha detectado que su dirección IP ya está en uso. • Verde/rojo parpadeante: Autoprueba – El adaptador se está inicializando o está proporcionando alimentación eléctrica a las autopruebas. <p>LED LINK1 (puerto de estado de vínculo 1):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desactivado fijo: No hay vínculo – No hay un vínculo establecido en este puerto. • Verde fijo: Actividad – Indica actividad en este puerto. <p>LED LINK2 (puerto de estado de vínculo 2):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desactivado fijo: No hay vínculo – No hay un vínculo establecido en este puerto. • Verde fijo: Actividad – Indica actividad en este puerto.

Cumplimiento con directivas	
Compatibilidad electromagnética Directiva 2014/30/EU	EN 61326-1:2013
Cumplimiento normativo	
Grado de protección	IEC 60529
Fieldbus estándar	IEEE 802.3
Prueba ambiental	EN 60068-2-14
Resistencia al choque	EN 60068-2-27
Resistencia a vibraciones	EN 60068-2-6
Gas dañino	EN 60068-2-42
Humedad relativa	EN 60068-2-56
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente	-20...60 °C (-4...140 °F)
Temperatura de almacenamiento	-25...85 °C (-13...185 °F)
Humedad relativa	95% sin condensación
Resistencia al choque	Tipo de choque I, duración de choque de 11 ms, amplitud de choque de 15 g, número de choques 18
Resistencia a vibraciones	Rango de frecuencia de 10...150 Hz; frecuencia de transición: 57.56 Hz, amplitud/aceleración ±0.075 mm/1 g; 10 ciclos Rango de frecuencia de 5...100 Hz; frecuencia de transición: 13.2 Hz amplitud/aceleración ±1 mm/0.7 g; 90 minutos en cada resonancia
Gas dañino	Diseñado para operación en condiciones ambientales según el nivel de severidad G3 de ISA-571.04-1985
Especificaciones mecánicas	
Grado de protección	IP20 (módulo), montado en el backplane
Conexión	Por medio del backplane
Masa, aprox.	150 g (5.29 onzas)
Dimensiones	32 x 100 x 103 mm (1.26 x 3.9 x 4 pulg.)
Atributo	
	1719-AENTR
Datos para aplicación en conexión con zonas Ex	
Certificado de examen de tipo Grupo, categoría, tipo de protección	DEMKO 16 ATEX 1780X ⊕ II 3 G Ex nA IIC T4 Gc
Cumplimiento con directivas Directiva 2014/34/EU	EN 60079-0:2012+A11:2013; requisitos generales EN 60079-15:2010; atmósferas potencialmente explosivas, protección "n"
Certificaciones internacionales	
Aprobado por UL	E106378
Aprobado por IECEx Aprobado para	IECEx UL 16.0141X Ex nA IIC T4 Gc
Información general	
Información del sistema	Hay que montar el módulo en los backplanes apropiados (1719-A**) en Zona 2, Div 2 o zonas no peligrosas. Hay que acatar la declaración de conformidad correspondiente. Para uso en zonas no peligrosas (por ej., Zona 2, Zona 22 o Div. 2); el módulo se debe instalar en un envolvente apropiado. Para uso en zonas no peligrosas; los módulos se deben instalar en un gabinete; no se requiere una clasificación de zona peligrosa para este gabinete.
Información adicional	Hay que acatar el certificado de examen de tipo EC, las declaraciones de conformidad, el certificado de conformidad y las instrucciones donde corresponda. Para obtener información sobre certificación y vínculos a esquemas de control con detalles de parámetros de entidad completos, consulte el documento 1719 Certification Bulletin, publicación 1719-CT001 .

Activar Window
10/27/2016 10:00:00 AM

ANEXO 3
VALIDACIONES



Yo, **Carlos Homero Adriano Condo**, con C.I **0602208076**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **MIGRACIÓN DE MÓDULOS FLEX I/O EN PLC DE UNIDAD PRINCIPAL EN UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO**.

Elaborado por el Ing. **Cristian Jacob Carrasco Mayorga**, con C.I **1802844355**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 17 de agosto de 2023

Carlos Adriano Digitally signed
by Carlos Adriano
Date: 2023.08.22
22:30:25 -05'00'

Carlos Homero Adriano Condo
C.I **0602208076**
Registro SENESCYT 1002-2016-1659346

CRITERIOS	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad				X	
Conceptualización				X	
Actualidad				X	
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X



Yo, **José Luis Fierro Fierro**, con C.I **0603001421**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **MIGRACIÓN DE MÓDULOS FLEX I/O EN PLC DE UNIDAD PRINCIPAL EN UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO**.

Elaborado por el Ing. **Cristian Jacob Carrasco Mayorga**, con C.I **1802844355**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 17 de agosto de 2023

José Luis Fierro
 Firmado digitalmente por José Luis Fierro
 Fecha: 2023.08.20
 08:10:46 -05'00'

José Luis Fierro Fierro

C.I 0603001421

Registro SENESCYT 1021-10-1002969

CRITERIOS	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad				X	
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	



Yo, **Wilson Oswaldo Gómez Valdez**, con C.I **1710685296**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **MIGRACIÓN DE MÓDULOS FLEX I/O EN PLC DE UNIDAD PRINCIPAL EN UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE CRUDO PESADO**.

Elaborado por el Ing. **Cristian Jacob Carrasco Mayorga**, con C.I **1802844355**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 17 de agosto de 2023

Wilson Oswaldo Gómez Valdez

C.I 1710685296

Registro SENESCYT 1004-02-244060

CRITERIOS	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X