

Sistema de Supervisión y Control de Rehervidores de Deshidratación de Gas: Caso Trenes A y B del Complejo Muscar

Roncero, Cristhian^{1*} ; Martínez, Yuselys² ; Vegas, Ruben³ ; Rodríguez, Yenibeth⁴ 

¹Universidad Autónoma de Ica, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Chíncha, Perú

²Petroleos de Venezuela S.A, Gerencia Compresión Gas Oriente, Maturín, Venezuela

³Universidad de Oriente. Núcleo Monagas. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Maturín, Venezuela

⁴AI Inversiones Palo Alto II S.A.C., Lima, Perú

Resumen: El monitoreo y control del proceso de deshidratación de gas natural a través de los sistemas de supervisión y control de los rehervidores de deshidratación de gas son de gran importancia ya que facilita la eliminación de la humedad y otros contaminantes del gas para hacerlo apto para su uso. En este sentido, la presente propuesta proporciona un sistema de supervisión y control de deshidratación para los rehervidores de deshidratación de gas de la Planta Muscar de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) que incluye la selección del controlador, el sistema de control, chasis y la integración de los diferentes componentes que la conforman. La automatización del proceso permite optimizar las condiciones del proceso de deshidratación, incluyendo la temperatura, la presión, el flujo de gas, el caudal de agua y los niveles de líquidos. Se desarrollaron las fases: visualizar, conceptualización y definir de la Guía de Gerencia de Proyectos de Inversión de Capital. La propuesta de la nueva arquitectura del sistema de supervisión y control de rehervidores de deshidratación de gas permite el monitoreo continuo de las condiciones del proceso de deshidratación, incluyendo la temperatura, la presión, el flujo de gas, el caudal de agua y los niveles de líquidos, así como también el incremento de los niveles de confiabilidad, minimización los accidentes inesperados y costo de mantenimientos correctivos.

Palabras clave: deshidratación de gas, sistema de control, rehervidores, optimización

Supervision and Control System of Gas Dehydration Reboilers: Case of Trains A and B of the Muscar Complex

Abstract: The monitoring and control of the natural gas dehydration process through the supervision and control systems of the gas dehydration reboilers are of great importance since it facilitates the removal of moisture and other contaminants from the gas to make it suitable for its use. In this sense, the present proposal provides a dehydration supervision and control system for the gas dehydration reboilers of the Muscar Plant of Petroleums of Venezuela S.A. (PDVSA) that includes: the selection of the controller, the control system, chassis and the integration of the different components that make it up. The automation of the process allows optimizing the conditions of the dehydration process, including temperature, pressure, gas flow, water flow and liquid levels. The visualize, conceptualize and define phases of the Capital Project Management Guide were developed. The proposed new architecture of the gas dehydration reboiler supervision and control system allows continuous monitoring of the dehydration process conditions, including temperature, pressure, gas flow, water flow and liquid levels, as well as increasing reliability levels, minimizing unexpected accidents and corrective maintenance costs.

Keywords: gas dehydration, control system, reboilers, optimization

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los procesos industriales y el intercambio de información ocupan un alto porcentaje de los diseños y aplicaciones, lo que lo convierte globalmente en un factor

clave para el éxito de las empresas (Melgarejo-Jara et al., 2023). La búsqueda de métodos y tecnologías que permitan optimizar el desempeño en esta área ocupa una parte importante de los esfuerzos de las empresas y organizaciones (Parra-Camacho et al., 2023). La tendencia de automatizar numerosas tareas y procedimientos para aumentar la

*croncerosm@gmail.com

Recibido: 05/07/2023

Aceptado: 04/10/2023

Publicado en línea: 14/11/2023

10.33333/rp.vol52n2.06

CC 4.0

productividad y la eficiencia mientras se reducen los costos operativos se encuentra presente en las organizaciones (Díaz, 2019; Tavara, 2016). La tecnología abre un gran abanico de posibilidades en este campo, ya que existen multitud de herramientas y sistemas diferentes para llevar a cabo este tipo de acciones.

En este sentido, la automatización como proceso ha sido uno de los mayores inventos del hombre porque ha permitido una gran reducción de las fallas de tipo humano, haciendo que los procesos industriales sean más rápidos y más eficientes, y a su vez mejora la calidad de vida del trabajador evitando accidentes al ejecutar ciertas actividades manualmente. (Ronceros y Pomblas, 2023; Ronceros, 2022). Bajo este contexto, el desarrollo exponencial de la tecnología en los últimos años ha traído consigo un considerable aumento en el uso de la automatización como opción principal para controlar y supervisar los procesos en las empresas. (Tidrea et al., 2023; Lashin, 2014). Esto ha generado un incremento de la productividad, una mejora de la competitividad y una significativa reducción de costos, lo que sin duda genera múltiples beneficios a las compañías. (Tomar et al., 2022).

En la actualidad predomina la era de las tecnologías de la información (TI), las cuales surgen como las principales aliadas para apoyar en diferentes aspectos a las grandes empresas en el mundo que incorporan la tecnología y la automatización de los procesos en sus actividades cotidianas, como lo son la Industria Petrolera, Química, Gasífera, Manufacturera, Pesquera, de Mina, Carbonífera, de Telecomunicaciones, Eléctrica, Siderúrgica, entre otras. (Ronceros et al, 2023; García et al, 2018; Bortolini et al, 2018; Maganha et al, 2018).

En el sector industrial la automatización se ha convertido en una fuerza impulsora de todo el sector químico, petrolero, gasífero y biotecnológico entre otros sectores importantes. (Corvo, 2018). Actualmente existen sistemas de instrumentación innovadores que controlan procesos complejos, garantizan la fiabilidad y seguridad de los procesos (Tomar et al., 2023; Tomar and Kumar, 2020) y son la base para el desarrollo de estrategias que servirán para mejorar el control de todas las operaciones a nivel de planta. Una de las industrias en la cual la automatización ha jugado un papel muy importante es la industria petrolera, debido a la complejidad y su gran cantidad de procesos llevados a cabo dentro de ella es importante tener un monitoreo constante de todas las actividades efectuadas dentro de la empresa. (Cotrina, 2019; Estrada et al, 2017 y Velásquez, 2015).

Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) es una de las grandes empresas petroleras del mundo que tiene como filosofía de procesos la implementación de sistemas automatizados, a fin de estar a la par con los avances tecnológicos y aportar soluciones optimizadas que contribuyan con la toma de decisiones acertadas. Dicha empresa se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos.

El complejo Operativo Muscar, la cual pertenece a la unidad de plantas, PDVSA Dirección Ejecutiva Producción Oriente

(DEPO). Dichas instalaciones son la base de todas las actividades de manejos de gas desarrolladas en el Distrito Punta de Mata, donde la recolección y acopio de gas es su actividad principal. Su ámbito de impacto incluye el tratamiento y acondicionamiento de gas asociado al crudo de todas las unidades de explotación del distrito, así como la óptima segregación de gas para la planta de extracción de líquidos. Dicho gas es llevado a través de tuberías que lo transportan y distribuyen hasta los centros de consumo, además puede ser usado en el levantamiento artificial en pozos de petróleo, o simplemente ser reinyectado al subsuelo para la recuperación secundaria de crudo. Es muy importante remover el agua del gas para así evitar corrosión en las tuberías, formación de hidratos que puedan restringir o bloquear las tuberías y evitar el funcionamiento errático de los quemadores de gas.

El área de rehervidores de deshidratación de alta presión del Complejo Muscar comprende dos trenes (A y B), los cuales tienen la capacidad de manejar 1000 MMPCND (miles de millones de pies cúbicos estándar por día), 500 MMPCND cada uno. Esta planta cumple la función de deshidratar el gas natural provenientes de las fuentes del Complejo Operativo Amana (COA) y Complejo Operativo Tejero (COT) las mismas son estaciones encargadas de la producción de crudo y manejo del gas, unidas a estas se encuentra la estación Santa Bárbara Pirital la cual es la encargada solo de la producción de crudo, con el fin de obtener un gas totalmente seco, de 0 a 5 Lib/pulg de agua para enviarlo a compresión de planta de inyección de alta presión PIGAP 1.

Esta planta está dividida en los procesos de deshidratar el gas natural y regenerar el glicol. En el proceso de regeneración del Glicol es donde intervienen los rehervidores, el cual es un equipo que le proporciona el calor necesario para regenerar el glicol en la torre destiladora. La separación se produce gracias a la diferencia en los puntos de ebullición entre el agua 215°F y el glicol 410°F. El calor es producido por el gas combustible que es quemado en los tubos calentadores que tiene cada horno y así el glicol cumple la última etapa de regeneración. La temperatura de operación de estos hornos es de 380°F, no debe sobrepasar los 400 °F, ya que a temperaturas mayores se produce la degradación del glicol lo que traería problemas al proceso. Para controlar la temperatura de estos rehervidores es necesario un sistema de control que ayude a supervisar dicha temperatura, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados, la finalidad de garantizar una mayor eficiencia del proceso, al igual que permitiría una mejor facilidad de operación y seguridad del personal.

2. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló siguiendo una metodología propuesta por PDVSA, denominada Guía de Generación de Proyectos de Inversión de Capital (GGPIC), Esta metodología se compone de 5 fases: visualizar, conceptualizar, definir, implantar y operar (GGPIC, 1999). La investigación solo abarcó las primeras 3 fases, ya que es una propuesta de automatización, por lo que las actividades finales de la fase de implementar y operar quedan fuera del alcance de la presente

investigación. A continuación, se describe cada una de las fases que se ejecutaron:

Fase 1: Visualizar

En esta fase, se procedió con el levantamiento de la información concerniente al proceso de deshidratación del gas y por ende a los rehervidores de la planta. Las actividades relacionadas con esta fase son:

1. Identificación de la filosofía de operación de los rehervidores.
2. Identificación de la filosofía de control de los rehervidores.
3. Descripción de la arquitectura tecnológica.
4. Levantamiento de la información de los gabinetes instalados en campo.

Fase 2: Conceptualizar

En esta fase se realizaron las siguientes actividades:

1. Identificación de equipos tecnológicos disponibles para el sistema de control en los rehervidores.
2. Evaluación técnica de los equipos disponibles en el mercado.
3. Selección de las tecnologías a proponer.

Fase 3: Definir

Las actividades asociadas con esta fase se mencionan a continuación:

1. Creación de la base de datos de la arquitectura de control propuesta.
2. Diseño de la arquitectura tecnológica a proponer.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Fase I. Visualizar

3.1.1 Filosofía de Operación de los rehervidores

El gas proveniente de los separadores a 1100 PSIG y a 112 ° F entra a la torre contactora por el fondo y fluye hacia arriba a través de ocho platos de válvulas de presión, en los cuales tiene contacto directo con el trietilenglicol (TEG) pobre que es introducido por el tope de la contactora a una presión de 1179 PSIG y 127 °F aproximadamente, a un flujo de 50 GPM (galones por minuto) y a una concentración de 99.8% en peso. El TEG desciende a través de la contactora y absorbe agua del gas de entrada deshidratándolo hasta un contenido de humedad comprendido entre 5 y de 7 Lb H₂O/ MMPCN (libras de agua por miles de millones de pies cúbicos normales).

El gas seco originado de la contactora fluye por una línea de 20" de diámetro hacia el cabezal de 30" de diámetro común a ambos trenes de deshidratación; desde este cabezal el gas es enviado a la planta de deshidratación PIGAP 1. mientras que el TEG rico en agua fluye desde el fondo de la contactora bajo control de nivel, a través de una válvula y un orificio de restricción en el cual se disminuye la presión del líquido a 60 PSIG, a estas condiciones el TEG rico en agua es enviado al desasfaltenizador de TEG rico. Actualmente, se encuentra operando en buenas condiciones el del tren B, mientras que el del tren A presenta excesiva carga de líquidos, debido a que el desasfaltenizador de ese tren está fuera de servicio.

Luego el TEG entra a la torre regeneradora para posteriormente pasar a los intercambiadores de calor glicol/glicol, una vez que el TEG obtenga la temperatura adecuada entra al separador trifásico donde se separan las fases de glicol rico, líquidos condensados y gases que no fueron removidos en el desasfaltenizador. Seguidamente, pasa por los filtros con el fin de remover los sólidos suspendidos que estén en la corriente de glicol; luego el TEG pasa por el intercambiador de calor glicol/glicol para entrar a los rehervidores. Una vez regenerado el glicol, pasa nuevamente por los dos intercambiadores de calor y finalmente al acumulador de glicol.

3.1.2 Filosofía de Control de los Rehervidores

El área de rehervidores del sistema de deshidratación de Muscar actualmente cuenta con un sistema BMS (Burner Management System) compuesto por un PLC Allen Bradley SLC500 Processor Unit modelo 1747-L20B para el control y supervisión de las variables que maneja el mismo, es importante mencionar que el control de dicho SLC es local, y que de las treinta señales asociadas a esta área, solo cuatro llegan al sistema de supervisión EXPERION, estas cuatro (4) señales salen directamente desde el instrumento en paralelo hacia el BMS local y hasta un controlador ubicado en sala de ingeniería para luego ser visualizadas en el Experion.

El sistema de control cuenta con tres secciones de control, una de tipo convencional basada en controladores y detectores de llama, otra compuesta propiamente por el controlador programable y la tercera la constituye la interfaz local hombre-máquina. Estas tres secciones están contenidas en el gabinete NEMA 4X y 3R. A continuación, en la Figura 1 se muestra el proceso de deshidratación del gas.

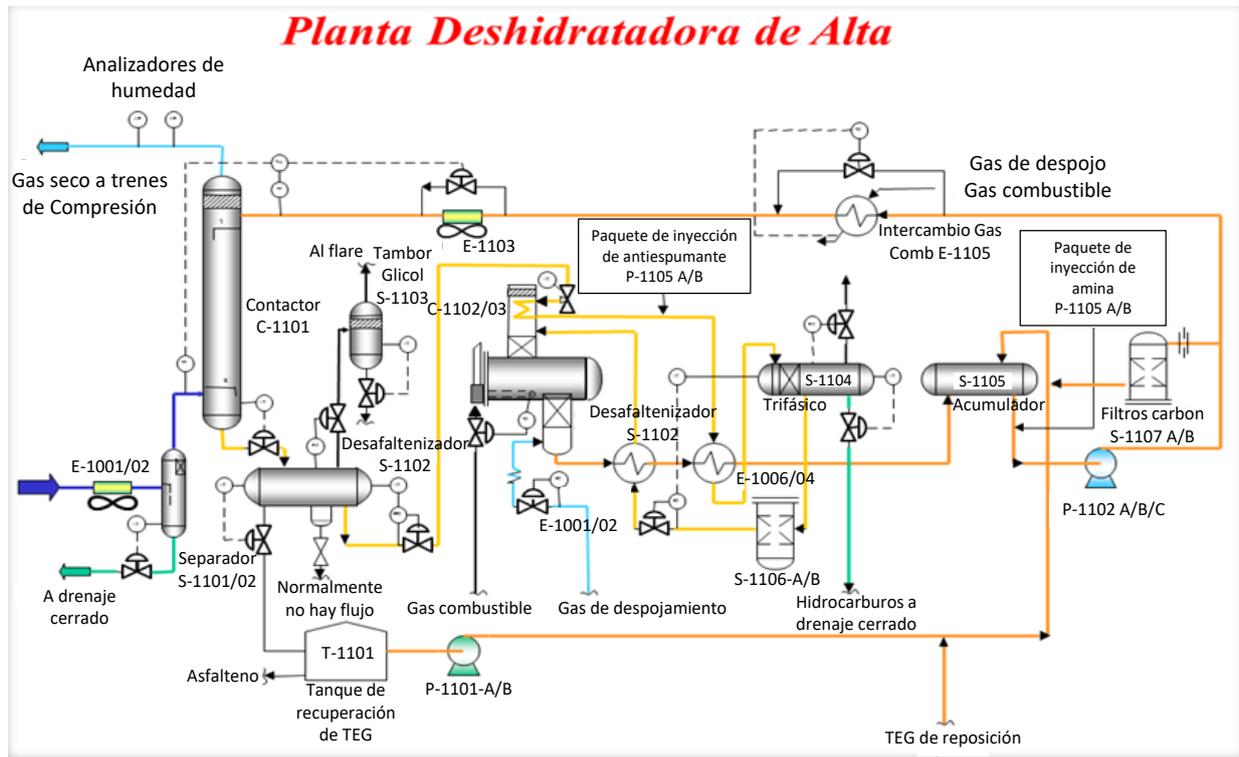


Figura 1. Proceso de deshidratación del gas

3.1.3 Descripción de la arquitectura tecnológica

La arquitectura tecnológica de los rehervidores está dividida en tres niveles totalmente interrelacionados, el primer nivel está conformado por los equipos de instrumentación instalados en campo, tales como transmisores de presión, indicadores de temperatura, válvulas de control, entre otros; el segundo está

compuesto por el sistema de control (SLC 500 del fabricante Allen Bradley). Y el último nivel está representado por el sistema de supervisión EXPERION PKS, las consolas de supervisión e ingeniería y los servidores maestros, incluyendo además los switches de procesos, y todos los equipos de telecomunicaciones que hacen vida en la red, tal y como se muestra en la Figura 2:

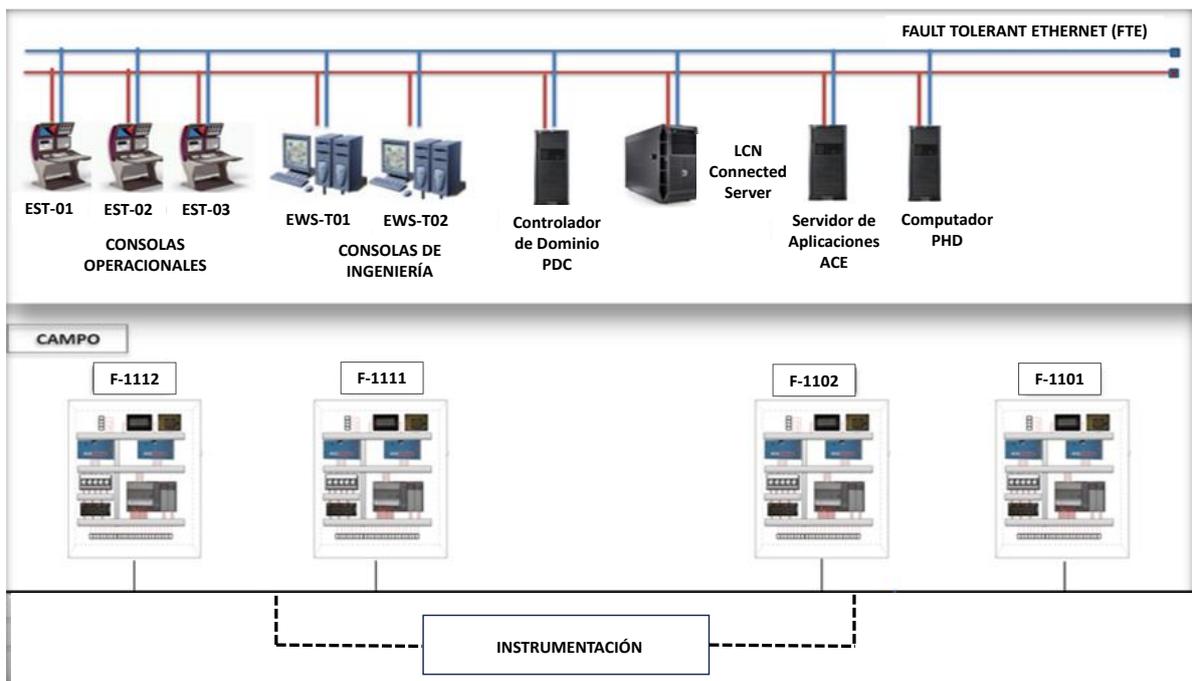


Figura 2. Arquitectura tecnológica actual de los rehervidores

A continuación, se detalla la arquitectura por cada nivel:

Nivel 1: Instrumentación.

En los rehervidores, existen instrumentos analógicos que tienen una alimentación de lazo y envían señales de 4-20 mA, instrumentos digitales que transmiten la señal con dos tensiones de línea. Cabe agregar, que los instrumentos envían sus datos a un BMS compuesto por un SLC 500, que se encuentra en el área de rehervidores, que se encarga del control de las señales asociadas a esta área.

Nivel 2: Sistema de control

El sistema de control existente en los rehervidores, cuenta con un sistema de control local denominado BMS (System Burner Management) compuesto por un SLC 500, el cual se encarga del control y supervisión de todas las señales asociadas a los rehervidores, cabe acotar que sólo cuatro de esas señales salen directamente del instrumento hasta la sala de control viajando a través de un cable de comunicación 485 hasta un controlador C300 de honeywell, el cual proporciona el control de procesos potente y robusto para la plataforma Experion, de allí pasan a los switches de procesos para conectarse a la red FTE (FaultTolerant Ethernet) del sistema EXPERION.

Nivel 3: Sistema de supervisión

Este nivel lo conforman los equipos de telecomunicaciones entre los cuales se encuentran las consolas de visualización del Experion, los servidores, los swiches, entre otros; estos equipos enviarán información al Sistema Experion PKS R311 por medio de los Servidores Redundantes, quienes están en capacidad de manejar información de la red FTE de Experion, el cual ayuda a los fabricantes industriales a aumentar su rentabilidad y productividad. Experion PKS transforma el control del proceso más allá del sistema tradicional de control distribuido (DCS) con la funcionalidad de una solución de automatización avanzada plataforma e integración de aplicaciones innovadoras para mejorar el rendimiento del negocio.

3.1.4 Levantamiento de la información de los gabinetes instalados en campo

Una vez que se realizó el levantamiento de información para la identificación de todas las señales analógicas de entrada (AI), analógicas de salida (AO), digitales de entrada (DI) digitales de salida (DO) y hart de los rehervidores se elaboró una tabla resumen (ver Tabla 1) que contiene la cantidad de señales existentes de cada gabinete, dicha tabla representa un pilar fundamental para la selección de los equipos de adquisición de datos remotos, el tipo de red de comunicaciones e incluso del sistema de control necesario para satisfacer dichos requerimientos de entrada y salida.

Tabla 1. Resumen de señales existentes en los rehervidores

	TREN A		TREN B	
	REH.1	REH.2	REH.1	REH.2
DI	21	21	21	21
DO	8	8	8	8
AI	0	0	0	0
AO	0	0	0	0
HART	0	0	0	0
TOTAL	29	29	29	29

En la tabla anterior se puede observar que cada gabinete maneja 29 señales siendo todas estas discretas, dando un total de 116 señales.

3.2. Fase II. Conceptualizar

Se evaluó los requerimientos que debe poseer el sistema de control propuesto sin que afecte la homogeneidad de la plataforma existente en las diferentes instalaciones de PDVSA.

3.2.1 Equipos tecnológicos disponibles para el sistema de control en los rehervidores

Se tomaron en cuenta los sistemas de control que se utilizan actualmente en la plataforma de PDVSA para garantizar mantener la homogeneidad de la plataforma tecnológica.

Sistema de Control 1: es ideal para procesos complejos, tiene un procesador potente, posee la capacidad de proveer integración en la comunicación, lo cual permite que se integren cada vez más funciones como el diagnóstico, la flexibilidad de memoria y el almacenamiento de datos. Posee un sistema de seguridad certificado TUV Rheinland, fácil de usar. Proporciona un CPU bien equilibrado, capaz de brindar un rendimiento apto para el manejo de instrucciones que van desde Booleanas hasta instrucciones en punto flotante. Es ideal para control de procesos complejos y posee las siguientes características:

- Para la programación del sistema se puede emplear cualquiera de los 4 lenguajes IEC 1131-3, en un ambiente de Windows (Unity, Concept).
- Sistema Multitarea (Multitasking) de alto nivel.
- Capacidad de Memoria de hasta 7MB.
- Seguridad de los Procesadores y módulos I/O.
- Plug & Play de alto rendimiento en caliente.
- Numerosos puertos integrados (Ethernet TCP/IP con el puerto del servidor web, Modbus plus y al menos un puerto serie Modbus) en el panel frontal.

Sistema de Control 2: es un sistema único e integrado que se puede utilizar en todas las aplicaciones de producción en todos los sectores comerciales. Esta propuesta es fundamental para elevar el nivel de automatización de procesos o soluciones para tareas relacionadas con la producción.

Características:

- Puerto estándar RS-485 con velocidad de transferencia de datos comprendida entre 1,2 y 187,5 Kbits/s.
- Conexión a Ethernet vía módulo dedicado.
- Estándar Windows.

Sistema de Control 3: Este es modular, es una plataforma de control de alto rendimiento, adecuada para el proceso secuencial y el control de movimiento. Este sistema se puede conectar a la arquitectura de redes abiertas Net Linx y ofrece una amplia gama de módulos digitales, analógicos y especialmente módulos I/O. Todos los controladores operan

con multitarea, multiprocesamiento y sistemas operativos que admiten el mismo conjunto de instrucciones en múltiples lenguajes de programación. A continuación, sus características:

- Multitarea (Multitasking).
- Multilenguaje de programación.
- Un modelo de red productor-consumidor.
- Control de movimiento altamente integrado.
- Mejoras en flash para actualizaciones del sistema en sitio.

3.2.2 Evaluación técnica de los equipos disponibles en el mercado.

Los requerimientos mínimos que debe poseer el sistema de control a proponer son los siguientes:

- Integrabilidad
- Seguridad
- Diseño modular
- Programación
- Control de proceso escalable
- Soporte técnico
- Destrezas técnicas del personal

- Costos

Una vez conocidos los sistemas que cumplen con los requerimientos mínimos, se realizó una matriz comparativa de tecnologías. Los pasos para la realización de la misma fueron los siguientes:

- Cada criterio se asoció con una letra correspondiente, es decir, la fila A representa el criterio A, la fila B corresponde al criterio B, y así sucesivamente.
- Posteriormente, se asignó un peso a cada criterio, seleccionando el grado de importancia del criterio (1: ninguna; 2: baja; 3: media; 4: alta), el cual se coloca en la casilla respectiva del valor de comparación.
- Después de vaciar la matriz de todas las comparaciones, se sumaron los puntos de cada criterio y se ponderó cada uno de ellos, teniendo cada uno un peso de 1 a 10, donde 1 es el mínimo y 10 el máximo.
- En la parte inferior de la matriz, cada una de las opciones estudiadas se colocó con un rango de números del 1 al 5 para indicar si la tecnología es adecuada para cumplir con los criterios de evaluación, como se muestra en la Figura 3.

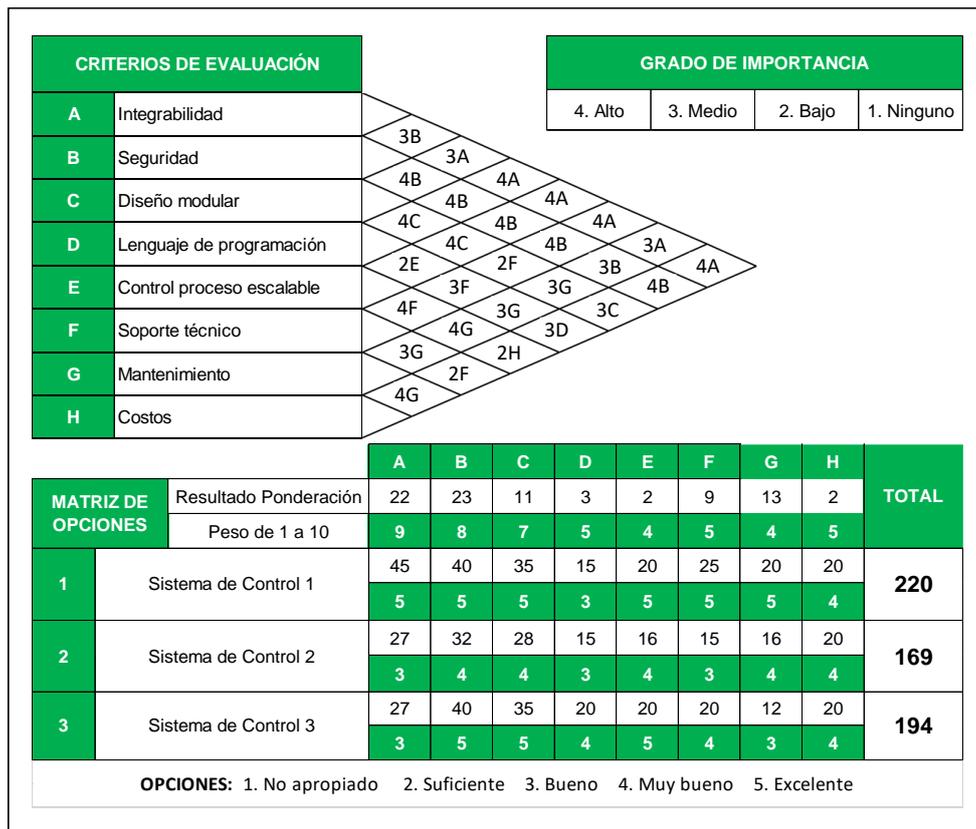


Figura 3. Matriz comparativa de tecnología para los transmisores

En la comparación de los sistemas de control realizada en la tabla anterior, se observa que el sistema de control 1 es el que mejor cumple con los criterios evaluados, obteniendo una puntuación total de 220 puntos, puntuación que lo ubica sobre los sistemas de control 2 y 3 los cuales obtuvieron una

ponderación de 169 y 194 puntos respectivamente. En los criterios relacionados con la seguridad, diseño modular, lenguaje de programación, control proceso escalable y costos, los 3 sistemas de control evaluados obtuvieron puntuaciones similares. En el criterio relacionado a la Integrabilidad, el

sistema de control 1 fue el ganador con una puntuación de 45 puntos, el sistema de control 2 y 3 obtuvieron una puntuación de 27 puntos cada uno. Para los criterios de soporte técnico y mantenimiento, el sistema de control 1 fue considerado la mejor opción con una puntuación de 25 puntos y 20 puntos, respectivamente.

3.2.3 Selección de las tecnologías a proponer

Selección del controlador

Los controladores del sistema de control 1 pueden monitorear y controlar entradas y salidas a través del backplane. Estos pueden comunicarse con computadoras u otros procesadores a través del medio RS-232-C, y redes como DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP. El controlador 1756-L6x ejecuta el Scan de lógica de escalera casi dos veces más rápido que los controladores 1756-L55; ejecuta instrucciones de control de movimiento, con datos matemáticos de tipo de datos REAL y bloques de función de 4 a 5 veces más rápido que los controladores 1756-L55. En este sentido, se seleccionó el controlador 1756-L61, que posee 2MBytes de memoria, se caracteriza como un PLC de gama media, por lo que posee las cualidades necesarias para satisfacer los requerimientos de proceso y control del área.

Selección del Chasis

Considerando los chasis disponibles en el mercado para la selección y la cantidad de tarjetas necesarias para lograr la comunicación de los instrumentos de campo hacia el Experion, se seleccionó un chasis de 7 slots, es decir el chasis 1756-A7, el cual posee una cantidad de slots suficientes para albergar las tarjetas necesarias para la comunicación y el procesamiento y deja espacio de reserva para futuras integraciones de tarjetas adicionales.

Selección de la fuente de alimentación

Las fuentes de alimentación eléctrica del sistema de control 3 se usan con el chasis 1756 para proporcionar alimentación eléctrica de 1.2 V, 3.3 V, 5 V y 24 VCC directamente al backplane del chasis. En este caso se seleccionó un chasis 1756-A7 de la serie B.

Selección de los Módulos I/O

Se seleccionó los módulos de I/O digitales 1756.

Selección de la red de comunicaciones

Las redes de la arquitectura NetLinx, es decir DeviceNet, ControlNet y EtherNet/IP, utilizan el mismo lenguaje y comparten un conjunto universal de servicios de comunicación. Tomando en cuenta las características que debe poseer la red de comunicación a proponer como lo son velocidad de transmisión, pericia del personal, robustez, soporte técnico, repuestos, programación de la red, cantidad de dispositivos que se pueden conectar a la red, se seleccionó la red Ethernet.

Selección del Software

En cuanto al software se seleccionó el paquete 9324-RLD700ESE RSLOGIX 5000 PROFESSIONAL, ESP. Este incluye el Rslinx profesional, y RsLogic 5000 Enterprise con una versión de firmware 16, además posee las facilidades de

programar en LadderLogic, texto estructurado, Diagrama de bloques funcionales, Diagramas de bloques secuenciales.

Ubicación de las tarjetas en el chasis principal

El chasis albergará la tarjeta Ethernet, además de la tarjeta del procesador, las cuales estarán ubicadas tal y como se muestra en la Tabla 2, en la que se presenta el listado de partes necesarias para la puesta en marcha del sistema de control, y la respectiva ubicación de las tarjetas seleccionadas en los slots del chasis principal.

Tabla 2. Lista de partes, chasis principal del PLC

SLOT	NÚMERO DE PARTES	DESCRIPCIÓN
	1756-A7	Chasis 7 Slot
	1756-PA75	Controllogix Power Supplies
0	1756-L63	Procesador Logix 5563
1	1756 - ENET	Ethernet/IP Bridge
2	1756-IB32	Input Module 32
3	1756-OB16I	Output Module 16 Aislado
4	1756 - IT61	Módulo Entrada Thermocouple
5	1756- IF6I	Módulo Entrada Analógica

Selección del Panel View

Se seleccionó el panelview PV PLUS 1500 Mod. 2711P-B15C4A, el cual tiene una pantalla plana a colores de 15 pulg. (38.1 cm) con una resolución de 640 x 480 (mínima) y gráficos de 18 bits. Este terminal admite la entrada del operador a través de un teclado (40 teclas de función), una pantalla táctil o un teclado y una pantalla táctil.

Selección del Switch

Se consideró el switch instalado actualmente en Muscar como lo es el EDS-505A el cual tiene 5 puertos Ethernet será el encargado de establecer la comunicación entre los gabinetes vía Ethernet, un gabinete será el maestro el cual se utilizará un switch Model EDS-508-MM-SC-T con 6 puertos Ethernet y 2 puertos de fibra óptica multi-modo.

Selección del UV

El Ultraviolet Flame Detector es el dispositivo encargado de detectar la llama necesaria para la ignición y puesta en marcha del rehervidor, este se encuentra instalado dentro del propio rehervidor, cada rehervidor requiere de dos UV; estos al detectar la llama del piloto envía una señal a los módulos honeywell instalados dentro del gabinete, a su vez estos módulos envían una señal de "piloto encendido" al PLC y al transformador simultáneamente, el transformador da la señal para encender la llama del quemador. El UV al detectar llama en el quemador le vuelve a enviar una señal al módulo honeywell y este de inmediato al PLC para que este último controle y supervise todo el proceso del rehervidor en operación. El UV MODEL U2-2016-PF, es un detector de llama con salida 4-20mA, es decir que se comunicaría directamente con el sistema de control seleccionado.

3.3 Fase II. Definir

En esta fase se realizó el diseño de la nueva arquitectura tecnológica del sistema de control de los rehervidores, tomando como referencia las tecnologías seleccionadas.

3.3.1 Creación de la base de datos que se implementará en la arquitectura de control propuesta

Una vez validadas las señales que se encuentran operativas en el área de rehervidores, así como los instrumentos existentes, se procedió a la elaboración de una base de datos en la cual se registró la totalidad de las señales que van a ser enviadas al sistema de supervisión, el tag utilizado para describir los

instrumentos, el tag utilizado en el sistema EXPERION, el tipo de I/O, entre otra información relacionada con los gabinetes instalados en campo.

3.3.2 Diseño de la arquitectura tecnológica a proponer

Una vez que se realice la conexión del sistema de control y se realice el cableado respectivo, la arquitectura de control quedará como se muestra en la Figura 4, donde se puede observar la disminución de los puntos de falla de la red.

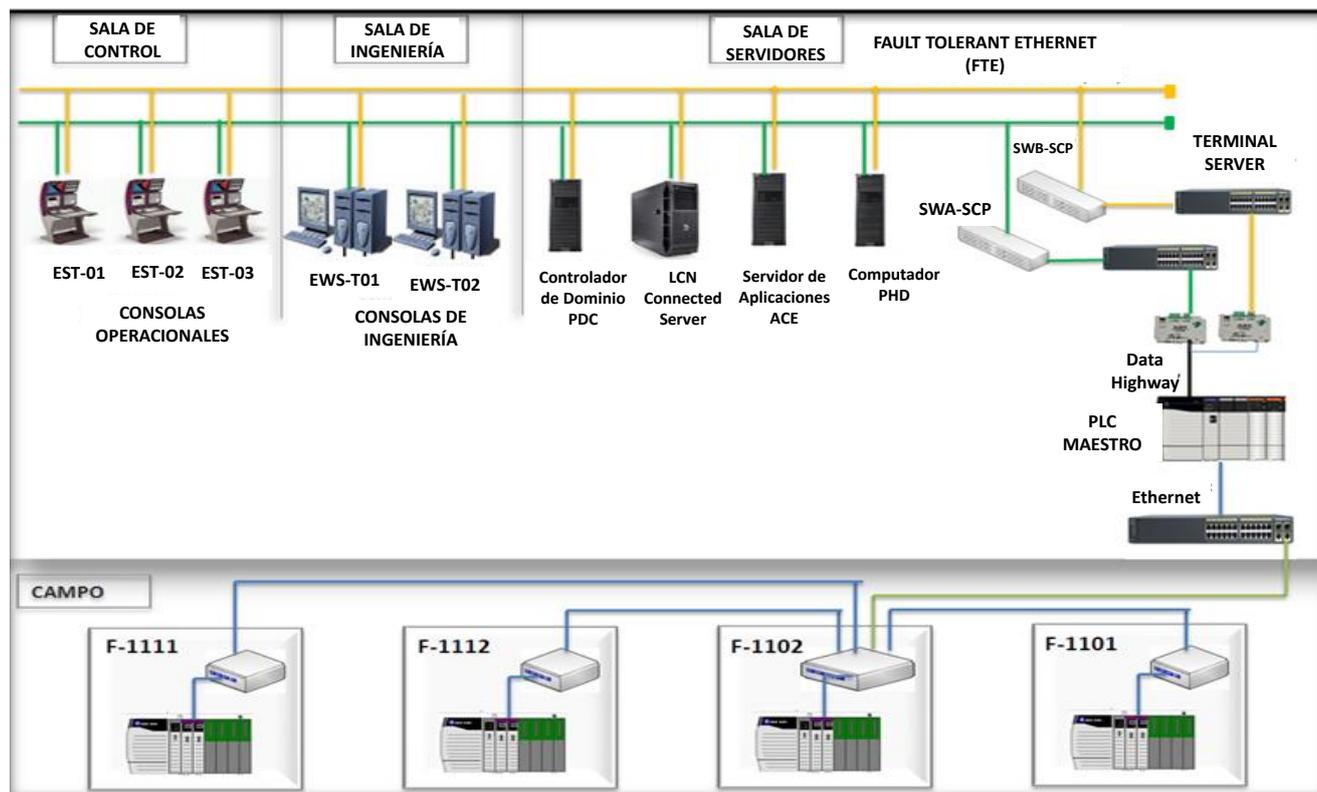


Figura 4. Arquitectura tecnológica a proponer

En la arquitectura propuesta las señales provenientes de los instrumentos van a los gabinetes instalados en campo en una red punto a punto, tal y como lo hacen actualmente, las mismas se distribuyen de acuerdo a los diagramas de conexionado, en los cuales se muestra a manera de diagrama la ubicación del cableado de las señales. Además, se realizaron diagramas causa-efecto para realizar la lógica de las señales de una manera accesible y comprensible para el personal mantenedor de la arquitectura tecnológica que opera en los rehervidores.

Una vez en los gabinetes instalados en campo, las señales llegan al sistema de control 1 y de ahí se dirigen vía Ethernet a un switch Industrial Ethernet Model EDS-505A que contiene 5 puertos Ethernet y será el switch que establecerá la comunicación entre cada gabinete, cabe acotar que el gabinete F-1102 correspondiente al rehervidor 2 del Tren A será el maestro. Es decir, en este estará un switch EDS-508-MM-SC-T, el cual contiene 6 puertos Ethernet 10/100BaseT y 2 puertos

de fibra óptica 100BaseFX multimodo, estos switches cuentan con una temperatura de operación comprendida entre -40 a 75°C , siendo así unos switches aptos para operar en dicha área. Cada switch estará ubicado en el mismo gabinete, cabe acotar que cada gabinete tendrá uno. En otros términos, se necesitarán 4 switches, 3 Model EDS-505A y un EDS-508-MM-SC-T. En este sentido, estos switches serán los encargados de dar servicio de red a los PLC para garantizar la supervisión y control de los equipos.

A partir del gabinete F-1102 los datos son enviados a través de un medio fibra óptica multimodo, en vista de que es un medio óptimo para conexiones a distancias y es menos propenso a verse afectado por las interferencias electromagnéticas (EMI) producidas por diversos equipos en campo y los altos voltajes que se implementan en el mismo. De este modo dichas señales llegan a un switch catalyst 2960 que ya se encuentra instalado en sala de ingeniería, este dispositivo es aprovechado para la

conversión de la señal de fibra óptica a cable de par trenzado UTP RJ-45 con la finalidad de establecer la comunicación con los PLC's de los rehervidores instalados en campo.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado podríamos acotar que este switch convierte el medio de fibra óptica multimodo a UTP RJ-45, y de éste los datos viajan directo a un PLC-5 maestro donde son enviados a unos controladores DL-3500 el cual pueden recibir y transmitir información con los PLC's, dicha información viaja vía Data Highway DH+ al terminal server y así a los switches de proceso donde finalmente entran a la red FTE (Fault Tolerant Ethernet) del Experion. Es importante que el EXPERION se comunicará con el PLC por medio del protocolo Allen Bradley, tal y como lo hace actualmente.

CONCLUSIONES

Se evaluaron los sistemas de control con características similares a la Planta Muscar. La evaluación de dichos sistemas mediante la matriz de selección de tecnologías permitió determinar de una manera objetiva y confiable por medio de la valoración de ciertos criterios establecidos, el sistema de control adecuado para garantizar la supervisión y control de las variables que intervienen en el proceso de deshidratación del gas y por ende en los rehervidores.

La propuesta contempla equipos y componentes que pueden integrarse a la tecnología actual brindando una plataforma tecnológica acorde a las necesidades de los procesos y con gran disponibilidad de sus repuestos en el mercado. La propuesta garantiza la operatividad y producción de la planta, y permite aumentar los niveles de confiabilidad del sistema. La selección del sistema de control fue la pieza clave para determinar los equipos o componentes que integraron la nueva arquitectura tecnológica, en vista de que éstos se deben adaptar a las exigencias del entorno.

La propuesta de la nueva arquitectura del sistema de supervisión y control de rehervidores de deshidratación de gas permite el monitoreo continuo de las condiciones del proceso de deshidratación, incluyendo la temperatura, la presión, el flujo de gas, el caudal de agua y los niveles de líquidos, permitiendo garantizar la eficiencia del proceso de deshidratación de gas natural, lo que puede reducir los costos y mejorar la calidad del gas. Además, el monitoreo continuo del sistema puede ayudar a identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en problemas mayores, lo que puede minimizar el tiempo de inactividad y los costos de reparación.

La presente investigación sirve como referencia a las plantas de compresión de gas de la industria petrolera venezolana que requieran la implementación de un sistema de supervisión y control de rehervidores de deshidratación de gas que permita el monitoreo continuo de las condiciones del proceso de deshidratación (temperatura, presión, flujo de gas, caudal de agua y niveles de líquidos). El estudio puede ser replicado en otras plantas de gas, ya que la industria petrolera venezolana mantiene una plataforma homologada aprobada donde los

equipos considerados tomaron en cuenta los estándares establecidos por las normativas de PDVSA. Las empresas petroleras que tengan plantas de compresión de gas podrán replicar el estudio considerando la naturaleza y particularidad de su plataforma, lo que podría conllevar posibles cambios de equipos y/o dispositivos propuestos en la presente investigación.

REFERENCIAS

- Bortolini, M., Galizia, F., and Mora, C. (2018), Reconfigurable manufacturing systems: Review of the literature and research trend. *Journal of Manufacturing Systems*, 49(2018), 93-106. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.09.005>
- Cotrina, M. (2019). Diseño de la instrumentación para el sistema de automatización y control de la planta de abastecimiento y despacho de biocombustibles en la región de Puerto Maldonado. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2375>
- Corvo, R. (2018). Migración del Sistema de Control y Supervisión Scada S3 al Sistema Guardian del Alba en la Estación de Flujo Amaná, División Punta de Mata. [Tesis pregrado, Universidad de Oriente. Venezuela].
- Díaz, J. (2019). Diseño de un sistema de control basado en Scada en una estación de descompresión de gas natural comprimido para la reducción de costos de producción en plantas de fabricación de ladrillos [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/21572>
- Estrada, L, Chacín, J., Pérez, K. (2017). Sistema de control y monitoreo de inyección a gas para pozos petroleros [Tesis pregrado, Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín]. Renati. <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2028714>
- García, M., Irisarri, E., Pérez, F., Estévez, E., & Marcos, M. (2018). Automation Architecture Based on Cyber-Physical Systems for Flexible Manufacturing in the Oil and Gas Industry. *Revista Iberoamericana de Automática E Informática Industrial*, 15(2), 156-166. <https://doi.org/10.4995/riai.2017.8823>
- PDVSA (1999) Guía de gestión de proyectos de inversión de capital (GGPIC). Caracas: Comité de Operaciones de PDVSA. http://www.pdvsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=9073&Itemid=59
- Lashin, M. (2014). Different Applications of Programmable Logic Controller (PLC). *International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology*, 4(1), 27-32. <https://doi.org/10.5121/ijcseit.2014.4103>
- Maganha, I., Silva, C., y Ferreira, L. (2018). Understanding reconfigurability of manufacturing systems: An empirical analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 48 (Part A), 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.07.004>
- Melgarejo-Jara, M., Chamorro-Atalaya, O., Aldana-Trejo, F., Alvarado-Bravo, N., Farfán-Aguilar, J., Zevallos-Vera, E., and Anicama-Navarrete, E. (2023). Automated

drainage system for thermoelectric power plant. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 29(3), 1393–1401. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v29.i3>

Velásquez, C. (2015). Automation of oil transfer pump room, of the flow station of the Amana operational complex (Coa), PDVSA-District Punta de Mata, Monagas state. [Tesis pregrado, Universidad de Oriente. Venezuela].

Tavara, J. (2016). Dimensionamiento de sistema para inyección de gas a alta presión para remover remanentes de petróleo. [Tesis pregrado, Universidad de Piura. Perú]. PIRHUA. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2649/MAS_IME_SEM_011.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tidrea, A., Korodi, A. and Silea, I. (2023). Elliptic Curve Cryptography Considerations for Securing Automation and SCADA Systems. *Sensors Open Access*, 23(5), Article 2686. <https://doi.org/10.3390/s23052686>

Tomar, I., Sreedevi, I., and Pandey, N. (2022). PLC and SCADA based Real Time Monitoring and Train Control System for the Metro Railways Infrastructure. *Wireless Personal Communications*, 129(2023), 521–548. <https://doi.org/10.1007/s11277-022-10109-1>

Tomar, B., and Kumar, N. (2020). PLC and SCADA based Industrial Automated System. *2020 IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCON)*, Bangluru, India, 2020, 1-5, Article 9298190. <https://doi.org/10.1109/INOCON50539.2020.9298190>

Tomar, B., Kumar, N., and Sreejeth, M. (2023). Real Time Automation and Ratio Control Using PLC & SCADA in Industry 4.0. *Computer Systems Science and Engineering*, 45(2), 1495–1516. <https://doi.org/10.32604/csse.2023.030635>

Parra-Camacho, L., Rodríguez-Bayona, A., and Carreno-Zagarra, J. (2023). Automation and control of the thermal mixing process. *Systems Science and Control Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/21642583.2023.2177769>

Ronceros, C. & Pombas, R. (2023). Modelo de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad Operacional para una Planta Compresora de Gas. *Revista Politécnica*, 51(1), 117–129. <https://doi.org/10.33333/rp.vol51n1.10>

Ronceros, C., Medina, J., Vásquez, J., León, P., Fernández, J., and Urday, E. (2023). Supervision and Control System of the Operational Variables of a Cluster in a High-Pressure Gas Injection Plant. *Processes*, 11(3), 698. <https://doi.org/10.3390/pr11030698>

Ronceros, C. (2022). Modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(2), 85–104. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n2.914>

BIOGRAFÍAS



Cristhian, Ronceros Morales, Doctor en Gerencia por la Universidad Yacambú, Magíster en Gerencia General por la UDO. Ingeniero de Sistemas por la UDO. Estudios avanzados en Gestión de Proyectos TIC y Certificaciones internacionales en Coaching organizacional y PNL. Experiencia de 19 años Petróleos de Venezuela S.A, desempeñando cargos

supervisores y gerenciales en el área TI. Experiencia de 22 años como docente universitario. Docente de la Universidad Privada San Juan Bautista (Perú). Docente investigador de la UDO (Venezuela). Autor de libro de metodología de la investigación, autor y coautor de varias publicaciones en las áreas de automatización, confiabilidad operacional, proyectos y gerencia. Scopus Author ID: 58094434900



Yuselys del Valle, Martínez Zambrano, Ingeniero Sistemas por Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. Magister en Informática Gerencial por la Universidad de Oriente. Experiencia de 17 años en la Industria Petrolera Venezolana (PDVSA). Coautora de artículos

científicos. Scopus Author ID: 58305301300



Rubén Darío, Vega Mejía, Doctorando Unexpo- Barquisimeto en Ciencias de la Ingeniería. Magister en Gerencia Empresarial - UFT. Ingeniero Mecánico – ULA. Profesor titular de la Universidad de Oriente. Investigador Nacional PEII-A2. Coordinador de la Maestría de Ingeniería de Gas de la Universidad de Oriente, Núcleo de

Monagas.



Yenisbeth, Rodríguez Ruiz, Magíster Scientiarum en Ciencias Administrativas mención en Gerencia General por la Universidad de Oriente. Ingeniero de Sistemas por la Universidad de Oriente. 10 años de experiencia en Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA), desempeñando cargos de ingeniería y de supervisión en el

área de planificación.