

Automatización de inyección de odorante en línea de gas natural¹

(agosto de 2023)

Jorge Luis Martínez García², Ingeniero Electrónico, Facultad de ingeniería, Universidad San Buenaventura Bogotá, Colombia, Jorge.martinezjlmg.jlm@gmail.com, Kelly Johanna Niño Sandoval³, Especialista en Automatización Industrial, Universidad Santo Tomas, Grupo de investigación GRAM, Universidad Santo Tomas, kelly.nino@ustabuca.edu.co

Resumen - El presente artículo describe el desarrollo de la ingeniería de detalle para la automatización de una estación de inyección de odorante en línea de gas natural, conocida como la flora. El objetivo principal de la implementación es lograr el funcionamiento del equipo de inyección de odorante de forma automática y bajo la modalidad de inyección proporcional al flujo de gas, esto, sin la necesidad de instalar instrumentación para la medición de flujo de gas en tiempo real. Por otra parte, se debió dotar al sistema con la capacidad de monitorear el comportamiento de las variables operativas del equipo de inyección, de forma remota a través del sistema SCADA actual.

Palabras clave: inyección de odorante, automatización de sistema odorante, odorización de gas natural, odorización sin medición de flujo.

Automation of odorant injection in natural gas pipeline

Abstract – This article describes the development of detailed engineering for the automation of a natural gas line odorant injection station, known as flora. The main objective of the implementation is to achieve the operation of the odorant injection equipment without the need to install instrumentation for flow measurement in real time and to be able to monitor the behavior of the system remotely through the current SCADA system.

Keywords: injection of odorant, odorizing system automation, natural gas odorant, odorization without flow measurement.

I. INTRODUCCIÓN

El gas natural es un gas inoloro, el cual en altas o medias concentraciones puede representar un peligro para las personas, el medio ambiente y los activos de las empresas transportadoras o gaseoductos. Es por eso que existen regulaciones que señalan

la importancia y la obligación de dotar con olor al gas natural, como medida de alerta para cualquier ser humano ante la presencia de una fuga de gas. A esta práctica se le conoce como odorizar.

Gases de Occidente (GDO), es un importante gaseoducto de Colombia, que cuenta con una red de distribución de gas natural en el occidente del país. Para facilitar la operación del gaseoducto se ha implementado un sistema SCADA. Dentro del sistema, se monitorea y controla alrededor de 67 estaciones entre las que se encuentran: estaciones del tipo city gate, EDS, ERM, Gas Virtual y Válvulas odorizadoras. Actualmente existen algunas estaciones Odorizadoras que no cuentan con medición local de flujo de gas y, además, no se encuentran incluidas dentro del sistema SCADA. En estas estaciones la inyección se realiza por la opción de inyección proporcional al tiempo, que es una estrategia donde se calcula la porción de odorante a inyectar basados en una serie de parámetros estimados que al final logra determinar los tiempos de Stroke o periodos de inyección sobre la línea, aunque esta estrategia es ampliamente utilizada, es poco eficiente, debido a que el flujo de las estaciones no es constante durante un día y mucho menos, durante una semana o un mes. Habrá horas del día o incluso días de la semana en el que la diferencia entre el consumo mínimo y máximo sea considerable. En esa situación se establece para los parámetros estimados de la técnica, el valor promedio más alto, para garantizar que el gas no quede con niveles de odorización más bajos de los permitidos. En este sentido si bien se cumple con la norma, también se consume más producto odorante innecesariamente.

En este artículo se documentarán las estrategias utilizadas en la automatización de una estación de odorización piloto, conocida como la flora. En el piloto se tomarán como referencias las lecturas de flujo de gas, de las estaciones vecinas a la flora. Las lecturas de las estaciones vecinas serán consolidadas y comprobadas en el centro de control de GDO y luego, serán enviadas a la estación la flora en un formato de tipo tabla estática de 7 X 24, (7 días de la semana por 24 horas del día). Esta tabla será guardada por la RTU, instalada en la

¹ Artículo Científico presentado como opción de grado para optar por el título de Especialista en automatización industrial.

² Jorge Luis Martínez García Ingeniero Electrónico, Facultad de ingeniería, Universidad San Buenaventura Bogotá, Colombia, Jorge.martinezjlmg.jlm@gmail.com

³ Director: Kelly Johanna Niño Sandoval³, Especialista en automatización industrial, Universidad Santo Tomas, Grupo de investigación GRAM, Universidad Santo Tomas, kelly.nino@ustabuca.edu.co

estación la flora y servirá de base de datos para el cálculo de porción de odorante a inyectar.

Teniendo en cuenta que la estación la flora no cuenta con medición de flujo de gas local, la implementación de este proyecto le permitirá al sistema de la estación, contar con una base de datos que le indicará, cual es el flujo de gas que pasa por ella hora a hora. Con esta información se podrá configurar el sistema de inyección en la opción de inyección de odorante proporcional al flujo, lo que permitirá el consumo eficiente del producto odorante, eliminando los estimados de consumo o flujos por mes y pasando a inyectar odorante teniendo en cuenta los flujos hora de cada día.

II. JUSTIFICACIÓN

Gases de occidente, en adelante GDO, al igual que muchos otros gaseoductos utilizan la técnica de odorización proporcional al tiempo, esta técnica permite inyectar una porción de odorante a un flujo de gas promedio calculado. De acuerdo con las estadísticas de entrega de gas de cada estación se puede obtener un promedio mensual del flujo de gas que pasa por ella, para posteriormente, determinar la porción de odorante mínima necesaria por hora. Sin embargo, es bien sabido que los flujos de gas que atraviesan las estaciones no son constantes. Estos podrían variar en función del consumo de los clientes, fallas o cambios de operación, entre otras causas. Para lidiar con esta problemática se calcula la porción de odorante por hora de tal forma que en la hora de menor consumo se inyecte la porción de odorante correspondiente a el promedio de flujo más alto. De esa forma el gas que fluye por la estación no quedaría con valores de odorante menores a los permitidos por las leyes aplicables a la práctica de odorización del gas natural.

La práctica de odorización de gas con la técnica de inyección de odorante proporcional al tiempo, minimiza la cantidad de instrumentación necesaria en cada estación, pero también aumenta el consumo de odorante en la misma, debido a que en las horas de menor consumo se sigue inyectando la misma porción de odorante que en las horas de mayor consumo. Gases de occidente estima que las estaciones que implementan la técnica de inyección proporcional al tiempo consumen entre un 30 y un 45 % más, que las estaciones que implementan la técnica de inyección proporcional al flujo. Esta diferencia adquiere una mayor relevancia si se tiene en cuenta los costos del odorante y la carga operativa que trae el tener que abastecer las estaciones con una periodicidad mayor. Además de suponer un gasto operativo mayor, las estaciones que implementan la técnica de inyección proporcional al tiempo, también aumentan la probabilidad de incidentes o accidentes en el trabajo, esto justificado en que el manejo del químico odorante debe seguir unos procedimientos estrictos, toda vez que se entiende que una fuga del químico podría causar afecciones de salud en los trabajadores y las comunidades aledañas, si bien las consecuencias medicas de una fuga de odorante se podrían definir como leves, una materialización de un riesgo como este, podrían suponer repercusiones para la compañía de tipo legal y afectarían claramente su imagen ante sus clientes.

Tabla 1. Comparación técnicas de inyección de odorante

Técnica de inyección proporcional al tiempo	Técnicas de inyección proporcional al flujo
Requiere poca instrumentación para su funcionamiento	Requiere un brazo de corrección y medición de gas.
Baja eficiencia en el consumo de odorante.	Alta eficiencia en el consumo de odorante.
Requiere alta frecuencia de recarga de depósito de odorante.	Requiere baja frecuencia de recarga de depósito de odorante.
Incertidumbre en la cantidad de odorante por metro cubico de gas	Exactitud en la cantidad de odorante por metro cubico de gas

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** podríamos concluir que la única ventaja que presenta la técnica de inyección proporcional al tiempo, frente a la técnica de inyección proporcional al flujo es que: esta no requiere de instrumentación para determinar la cantidad de odorante a inyectar.

La instrumentación necesaria para calcular el flujo de gas es costosa, requiere mantenimiento y supervisión. Las estaciones que no cuentan con esta instrumentación son estaciones que están retiradas del casco urbano y que, por cuestiones de orden público, GDO procura que sus empleados visiten lo menos posible. Dadas esas condiciones la compañía no ve viable dotar de instrumentación a las estaciones configuradas con la técnica de inyección de odorante proporcionales al tiempo.

Conociendo la inviabilidad de la instalación de instrumentación que permitiría la medición del flujo instantáneo en las estaciones, se planea una estrategia que permitirá la implementación de la técnica de inyección de odorante proporcional al flujo sin la necesidad de la instrumentación en sitio.

GDO, cuenta con estaciones aledañas a muchas de las estaciones de odorización que están configuradas con la técnica de inyección proporcional al tiempo, dichas estaciones aledañas reportan el flujo de gas hora a hora, esta información permite conocer entonces, el flujo de gas que atraviesa a las estaciones de odorización que no cuentan con instrumentación necesaria para medir el flujo de forma local. Esta información se guarda en centro de control como una tabla de 7X24 (7 días de la semana por 24 horas del día). En ese orden de ideas, se podría intuir que ya se cuenta con la información necesaria para cambiar la técnica de inyección proporcional al tiempo, por la técnica de inyección proporcional al flujo, sin embargo, existe aún un inconveniente técnico, el equipo de inyección de odorante requiere que se le entregue la señal de flujo instantáneo en una entrada analógica de 4 a 20 mA, 1 a 5 VDC o una señal de pulsos. El inconveniente técnico, radica en que no hay instrumentación en la estación que entregue dicha señal.

Para hacer posible la implementación de la técnica de

inyección proporcional al flujo, en las estaciones de odorización que no cuentan con instrumentación para la corrección y medición de flujo de gas, se implementará un sistema de supervisión y control en la estación piloto conocida como la flora. Este sistema consistirá en la instalación de una RTU (Remote Terminal Unit), que se comunicará con el centro de control por medio de un canal de comunicación que podrá ser: Radio de dos vías, modem satelital o modem celular. La RTU obtendrá del centro de control la tabla de 7X24, la procesará y la traducirá a un formato tal, que pueda entender el equipo de inyección de odorante como la señal de flujo instantáneo correspondiente a la estación. Adicionalmente el sistema podrá reportar al centro de control, señales tales como: nivel del tanque de depósito de odorante, estados de alarma de operación y locativas y permitirá el envío de comandos desde centro de control, posibilitando así, la operación remota de la estación.

III. ALCANCE

Se adecuará el sistema de la estación de odorización la flora para que funcione como una estación de odorización proporcional al flujo de gas que la atraviesa. Para lograr ese objetivo se abordarán tres zonas de trabajo:

- Implementación de RTU ACE3600 como controlador del sistema en la estación la flora.
- Establecimiento de comunicación entre centro de control GDO y la estación la flora por medio de un router celular.
- Creación de una pantalla de control y monitoreo en el sistema SCADA actual de gases de occidente.

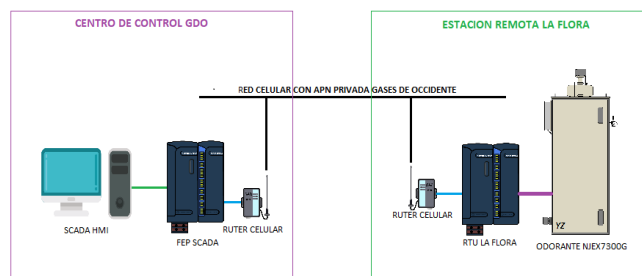
En la estación la flora se instalará una RTU ACE3600 de la fabricante motorola, programada para cumplir las siguientes funciones.

1. Establecer comunicación vía modbus RS485, con el equipo de odorización NJEX7300G, del fabricante YZ System, para monitorear las señales de operación y generar comandos para establecer los parámetros de inyección de acuerdo con el flujo de gas de la estación.
2. Establecer comunicación con centro de control a través de un router celular MIDGE2 del fabricante RACOM, para obtener los datos de flujo de gas calculados por el sistema SCADA e informar sobre el estado de operación del sistema de inyección de odorante.

En el centro de control se adicionará una pantalla al sistema SCADA actual, con el fin de entregar a el controlador de la estación la flora, una tabla de flujos calculados 24X7 (24 horas del día, 7 días de la semana). Adicionalmente el operador podrá monitorear todas las señales de operación del sitio en tiempo real.

A continuación, se presenta una imagen con la topología de red propuesta.

Figura 1. Topología general



IV. MARCO TEÓRICO

A. RTU.

Una RTU o Remote Terminal Unit es un dispositivo diseñado para el control y automatización de instalaciones instrumentadas electrónicamente. Tiene la función de gestionar los equipos físicos y a su vez comunicar con el sistema SCADA de control y son, con mucha diferencia, los equipos más utilizados para el telecontrol de instalaciones distribuidas y/o desatendidas. [1]

Se puede pensar que para esta función también puede utilizarse PLCs, pero la diferencia de uso entre ellos es notable. Mientras los PLCs están pensados para uso industrial, las RTUs son más apropiadas para el telecontrol de instalaciones porque incorporan un conjunto de funcionalidades hardware y software más adecuadas para ese entorno como son:

- Tolerancia ambiental: hardware tropicalizado con rango extenso de humedad y temperatura.
- Múltiples métodos de conexión: Ethernet, serie, GPRS/3G/4G, radio, ...
- Diferentes protocolos de comunicación aguas arriba y aguas abajo: Modbus, SNMP, IEC-104, DNP3, ...
- Más memoria para funciones de Store&Forward.

Por ello, las RTUs han permitido un mejor y mayor telecontrol de las instalaciones distribuidas. Debe remarcarse que las necesidades del telecontrol difieren de las necesidades del control industrial. Mientras en la industria se prioriza el control al milisegundo, en la gestión de infraestructuras principalmente se deben cumplir dos grandes requerimientos, la autonomía y la fiabilidad de los datos. [1]

1) RTU motorola ACE 3600.

La RTU ACE 3600 de la fabricante motorola, es un equipo modular, lo que quiere decir que puede elegir entre una variedad de módulos como fuentes de alimentación, CPUs, módulos I/O, entre otros. [2]

La configuración básica de una RTU ACE3600, debe contener como mínimo una fuente y una CPU, puede adicionar módulos I/O si así lo requiere. Pero todas las funcionalidades se encuentran en el cerebro del equipo (la CPU), de la cual existen 3 modelos: ACE3680, ACE3640 y ACE3610. Que se diferencian básicamente por la cantidad de puertos de

comunicación embebidas en su board y la memoria de procesamiento base. [3]

Lo más interesante de este dispositivo es la variedad de protocolos de comunicación industriales compatibles, dentro de los que se cuentan: Modbus RTU, Modbus TCP, DNP3, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, entre otros. Lo que la hace una RTU muy versátil capaz de comunicarse con muchas plataformas SCADA, tanto así, que en ocasiones la RTU ACE 3600 es utilizada dentro de sistemas de automatización como Gateway de comunicaciones, debido a que permite la interacción de su base de datos con todos sus puertos de comunicación. [4].

B. Router celular.

Un router celular es un dispositivo electrónico capaz de establecer comunicación con otros dispositivos electrónicos a través de una red móvil celular. El dispositivo debe dotarse de una sim card, con afiliación a la red de un operador celular. En Colombia contamos con varios de estos proveedores que ofrecen el servicio incluso con APN privados. Este tipo de dispositivos nos permiten realizar enrutamientos estáticos y dinámicos para una mejor performance entre las redes LAN y las redes WAN del operador.

1) Router celular MIDGE 2.

El Midge2 de la fabricante RACOM, es un dispositivo diseñado específicamente para sistemas SCADA y telemetría, que nos permite el transporte de datos entre redes 2G, 3G y 4G, adicionalmente contiene puertos de comunicación Ethernet y RS232. Permite enrutamiento estático y avanzado y es ideal para ampliar las funcionalidades de comunicaciones para las RTUs [5].

2) APN

APN es un acrónimo en inglés para Access Point Name o Nombre de Punto de Acceso, esta tecnología les permite a los administradores de grandes redes como lo son los operadores de red celular, redirigir el dispositivo a un segmento de red apropiado según el plan o contrato afiliado a la sim card del usuario. [6]

Existen distintos tipos de APN: públicas, privadas, con IP dinámica e IP fija. Los usuarios normales de telefonía móvil, por lo general configuran en su dispositivo APN públicas con IP dinámicas, mientras que los sistemas GPRS usan por lo general APN públicas con direcciones IP estáticas, para una mayor seguridad se podrían utilizar APN privadas con IP fijas. [6]

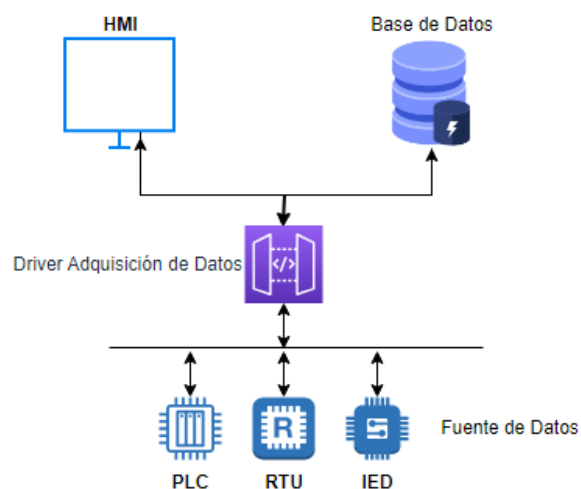
C. Sistema SCADA.

SCADA es un acrónimo por Supervisory Control And Data Acquisition (control y adquisición de datos de supervisión). Los sistemas SCADA utilizan el computador y las tecnologías de

comunicación para automatizar el monitoreo y control de procesos industriales. Estos sistemas son partes integrales de la mayoría de los ambientes industriales complejos o muy geográficamente dispersos ya que pueden recoger la información de una gran cantidad de fuentes muy rápidamente, y la presentan a un operador en una forma amigable. Los sistemas SCADA mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. [7]

Los elementos mínimos que requiere un sistema SCADA son: una fuente de datos (PLC, RTU, IED, etc.), Software o controlador para la adquisición de datos, un ambiente gráfico para la creación del HMI. También puede integrar un gestor de datos o historiador para guardar la historia de las señales. A continuación, una representación gráfica del sistema SCADA más sencillo.

Figura 2. Sistema SCADA Simple



De la **Figura 2**, Se debe tener presente que, de la línea horizontal de los dispositivos fuentes de datos, hacia arriba, todos los elementos presentados pueden estar dentro de un mismo nodo de cómputo o separados en una distribución de servidores en red. Adicionalmente el elemento marcado como base de datos, generalmente se le conoce como Historiador, debido a que almacena la data histórica del sistema.

El driver de comunicación o adquisición de datos puede presentarse con diferentes interfaces de comunicación, siendo la más común en la actualidad; las interfaces ethernet, pero este no es el único requisito que debe cumplir. Adicional a la interfase física de conexión, el driver debe ser compatible con algún protocolo de comunicación industrial para lograr una comunicación efectiva con los dispositivos de campo (fuentes de datos).

El HMI (human machine interface o interface humano maquina), es un software que representa el sistema a monitorear y/o controlar.

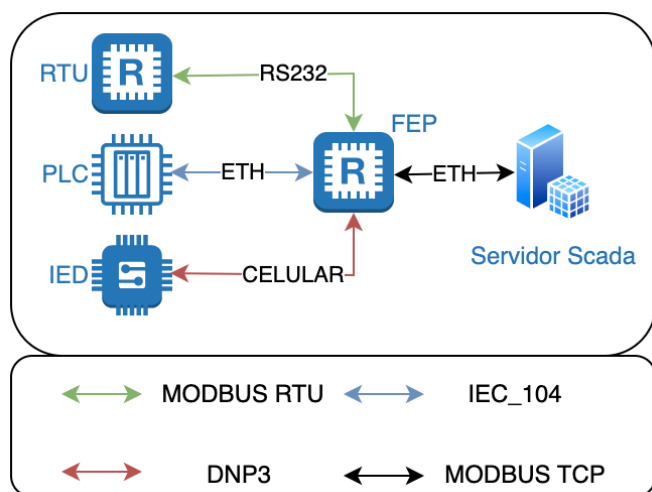
De esta forma el sistema SCADA obtiene la información del proceso en campo, la representa en una forma en la que la mente humana se siente más cómoda y guarda los datos históricos para representar graficas de tendencias entre otras indicaciones que le permiten al operador y a los usuarios en generar, comprender de mejor manera el comportamiento del sistema y detectar oportunidades de mejora.

1) Que es un FEP.

El FEP (Front end Processor, procesador frontal), es un dispositivo que se utiliza frecuentemente en sistemas SCADA, cuyo centro de control, recibe información desde distintos sitios remotos, por medio de distintos modos de comunicación e incluso utilizando distintos protocolos de comunicación.

El FEP del sistema puede actuar como Gateway de comunicaciones e interfaces, proporcionando, además, capacidades de análisis y tratamiento de datos. A continuación, se presenta una topología típica de conexión con FEP.

Figura 3. FEP en sistemas SCADA



2) Interface de comunicación.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, describe un FEP, encargado de recopilar la información de distintos dispositivos, que podrían estar en una misma locación o distribuidos geográficamente distantes. Note que los dispositivos se conectan a través de distintas interfaces como podrían ser DB9, para el dispositivo RS232, RJ45 para el PLC que se conecta por ethernet y una interface USB para el caso de la conexión celular, un FEP podría tener todas estas interfaces o simplemente proporcionar dentro de su documentación una serie de pin-out, para establecer conexión con cada una de ellas.

3) Gateway de comunicación.

Además de admitir diferentes interfaces de comunicación, el FEP también puede funcionar como Gateway de comunicaciones. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra como el FEP recibe información de sus

estaciones remotas a través de diferentes protocolos de comunicación industrial tales como: modbus RTU, IEC60870-5-104 y DNP3. Pero ahí no acaba su función, el FEP debe presentar la información recopilada a los servidores del sistema SCADA en uno o varios protocolos de comunicación, en el caso de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el FEP presenta la información recopilada en el protocolo modbus TCP.

4) Procesamiento de datos.

El FEP también podría realizar procesamiento de datos y generar nuevas variables a partir de variables obtenidas de sus estaciones remotas. Por ejemplo: imagine que un FEP recopila la información meteorológica de todo un país, el FEP podría tomar los datos de precipitación de cada ciudad para determinar la precipitación promedio de todo el país.

D. Protocolos de comunicación industrial.

“Un protocolo de comunicación industrial es un conjunto de normas que le permiten a dos identidades que se encuentren en un mismo sistema establecer una comunicación, con el objetivo de pasar información a través de diversas variables”. [8]

En otras palabras, un protocolo de comunicación industrial es el idioma que utilizan dos o más dispositivos para comunicarse e intercambiar información.

Dentro de la industria existen distintos protocolos de comunicación, incluso algunos han sido creados para satisfacer las necesidades de algunas industrias en específico, como es el caso de IEC 60870-5-104 y DNP3, que fueron creados para satisfacer las necesidades de la industria de generación y distribución eléctrica.

Existe una gran cantidad de protocolos de comunicación industrial, tanto de tipo propietario como de libre acceso. A continuación, se presenta una lista de los protocolos de comunicación más utilizados.

- MODBUS.
- DEVICENET
- PROFINET
- PROFIBUS
- BACNET
- HART
- CANOPEN
- DNP3
- IEC 60870-5-101
- IEC 60870-5-104
- ETHERNETIP

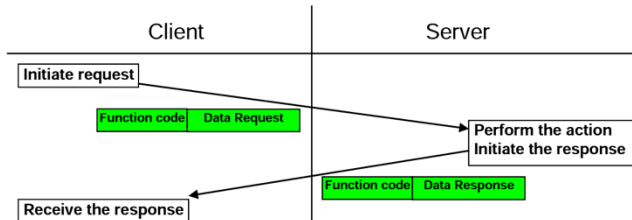
La lista podía ir creciendo mucho más, teniendo en cuenta que algunos protocolos tienen más de una versión como lo es el caso de MODBUS donde encontramos RTU, TCP, Vía TCP, Enron entre otros.

1) Modbus RTU.

Modbus es un protocolo de comunicación industrial creado por la empresa estadounidense MODICON en 1979 basado en el nivel 7 del modelo OSI, lo que lo convierte en un protocolo de capa de aplicación. [9]

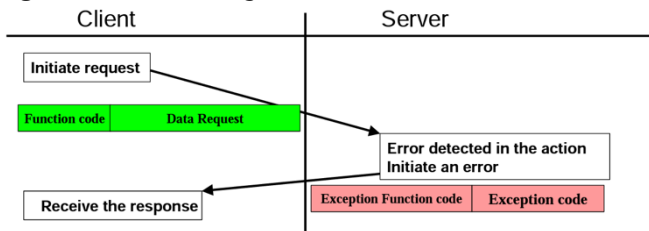
Modbus es un protocolo maestro-esclavo o cliente- servidor, donde el maestro/cliente, inicia la sesión de comunicación y el esclavo ejecuta las ordenes o instrucciones. [10]

Figura 4. Encuesta modbus [10]



En el caso en el que se genere un error en la transmisión de encuesta, el esclavo responderá con un código de excepción por error.

Figura 5. Modbus código error [10]



a) Esclavos modbus.

Los esclavo o servidores modbus, son el dispositivo que cuenta con la información o datos del proceso. Estos dispositivos están marcados por una dirección de esclavo que dentro del protocolo corresponde a un valor de 1 byte que puede ir de 1 a 255. Dentro de una red modbus puede haber más de un esclavo si el medio de comunicación lo permite. Por ejemplo: en una red RS232 no se recomienda que exista más de un esclavo ni más de un maestro. En una red RS485, por sus características de multidrop, pueden existir más de un esclavo, pero no se recomienda que exista más de un maestro. Por último, en una red ethernet, pueden existir más de un maestro y más de un esclavo.

b) Tipos de Datos Modbus

Dentro del protocolo existen 4 tipos de datos básicos que se pueden consultar. Estos son los discretos input, los coils, los inputs registers y los holdings register. Los discrete input y los coils son datos de tipo bit y se diferencian en que los coils pueden ser tanto de escritura como de lectura, mientras que los discrete input solo pueden ser de lectura, algo muy parecido pasa con los input y holding register. A continuación, se

presenta una que ilustra de mejor forma lo expuesto anteriormente.

Figura 6. Tipos de datos modbus [10]

Primary tables	Object type	Type of	Comments
Discretes Input	Single bit	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system.
Coils	Single bit	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.
Input Registers	16-bit word	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system
Holding Registers	16-bit word	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.

Cada dato dentro del protocolo tiene lo que se conoce como dirección de dato, es un número de 2 Byte que identifica a cada variable dentro del protocolo.

c) Códigos de función modbus.

Dentro del protocolo, el maestro tiene la capacidad de consultar (leer datos del esclavo) y de controlar (escribir o modificar valores en el esclavo), esto lo podrá hacer gracias a que ya están definidas funciones dentro del protocolo para realizar estas acciones. La Figura 7, presenta las funciones del protocolo, cada función tiene un código numérico de 1 byte asignado y está relacionado con un tipo de dato, no existen códigos dentro del protocolo que afecte a dos datos de distinto tipo.

Figura 7. Códigos de función modbus [10]

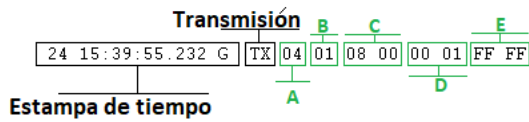
				Function Codes			
				code	Sub code	(hex)	Section
Data Access	Bit access	Physical Discrete Inputs	Read Discrete Inputs	02		02	6.2
		Internal Bits Or Physical coils	Read Coils	01		01	6.1
			Write Single Coil		05	6.5	
			Write Multiple Coils	15		0F	6.11
	16 bits access	Physical Input Registers	Read Input Register	04		04	6.4
		Internal Registers Or Physical Output Registers	Read Holding Registers	03		03	6.3
			Write Single Register	06		06	6.6
			Write Multiple Registers	16		10	6.12
			Read/Write Multiple Registers	23		17	6.17
			Mask Write Register	22		16	6.16
			Read FIFO queue	24		18	6.18
		File record access	Read File record	20		14	6.14
	Write File record		21		15	6.15	
	Diagnostics	Read Exception status	07		07	6.7	
		Diagnostic	08	00-18,20	08	6.8	
		Get Com event counter	11		0B	6.9	
		Get Com Event Log	12		0C	6.10	
		Report Server ID	17		11	6.13	
Read device Identification		43	14	2B	6.21		
Other		Encapsulated Interface Transport	43	13,14	2B	6.19	
		CANopen General Reference	43	13	2B	6.20	

d) Encuesta de Datos.

Cuando el maestro desea conocer la información del esclavo deberá generar por lo menos una encuesta por cada tipo de dato. Para eso debe conocer fundamentalmente: la dirección del esclavo al que le desea generar la encuesta, la dirección inicial del grupo de datos a consultar, la cantidad de datos y el tipo de dato. Tenga en cuenta que dependiendo del tipo de datos se escogerá un código de función para consultar.

A continuación, se presenta la consulta de un maestro a un esclavo con dirección 4. El maestro le solicita información sobre el estado de 1 coil con dirección 2049.

Figura 8. Trama de Solicitud de coil



La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la trama de solicitud de lectura de un coil, tenga en cuenta que la estampa de tiempo y la indicación de transmisión resaltadas en color negro, no hacen parte del protocolo, estas son características adicionadas por el software de simulación MDBUS. Las partes resaltadas en verde corresponden al protocolo modbus como tal y las cifras están expresadas en hexadecimal.

Tabla 2. Partes de una solicitud de datos

Sección	Tamaño	Descripción
A	1 BYTE	Dirección de esclavo modbus.
B	1 BYTE	Código de función
C	2 BYTE	Dirección de dato 800H =2048
D	2 BYTE	Cantidad de datos a solicitar
E	2 BYTE	Código de integridad CRC

Note que para la sección C, la dirección en decimal sería 2048 y no 2049 como se indicaba en el ejercicio, esto se debe a que el simulador tiene un offset de 1.

Por otra parte, la sección B indica que el maestro solicita un código de función 1, que de acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, es un código de función para la lectura de datos de tipo coil.

Por último, la sección D, muestra que se está solicitando 1 solo registro de este tipo, lo que nos deja ver que se puede solicitar en la misma trama más de un registro, con la única condición de que los registros solicitados deben ser del mismo tipo y tener direcciones de datos seguidas una de la otra.

A continuación, se presenta la respuesta del esclavo 4 a la solicitud del maestro.

Figura 9. Trama de respuesta



La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta la respuesta de datos a la consulta de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 3. Partes de una respuesta de datos

Sección	Tamaño	Descripción
---------	--------	-------------

A	1 BYTE	Dirección de esclavo que responde.
B	1 BYTE	Código de función que responde
C	1 BYTE	Cantidad de byte que contiene la respuesta.
D	X BYTE	Valor de los datos puede ser un máximo de 250 byte. Unos 2000 bits
E	2 BYTE	Código CRC

Nótese que la respuesta sigue cierta similitud con la solicitud, con la diferencia de que la respuesta puede variar en tamaño y la consulta por lo generar conserva siempre el mismo tamaño en bytes, nótese de igual forma que en una sola trama no es posible responder por más de 2000 registros de tipo coil o discrete input, ni por más de 125 registros Holding o input register, por lo que si se requieren más datos del mismo tipo con direcciones de datos continuos, se deberán solicitar en otra trama.

A continuación, se presentan varias ilustraciones con solicitudes y respuestas.

Figura 10. Trama solicitud 15 coils

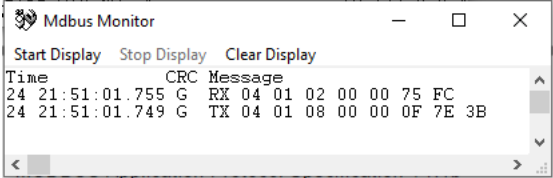


Figura 11. Trama solicitud 10 discretos input

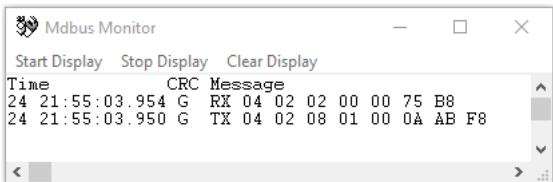


Figura 12. Trama solicitud 3 input register

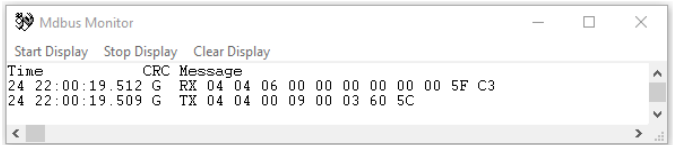
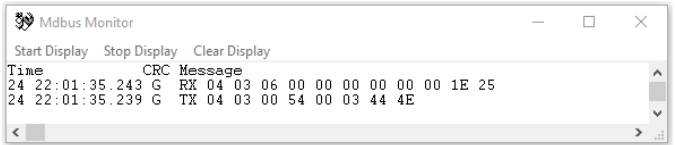


Figura 13. Trama solicitud 3 holding register



2) Protocolo MDLC.

El protocolo de comunicación MDLC (Motorola Data Link Communication), es un protocolo basado en las 7 capas del modelo OSI. Es un protocolo propietario por lo que no se conocen detalles de sus tramas y códigos de funcionamiento.

Figura 14. 7 capas del protocolo MDLC [11]

Function	Layer
1. Bidirectional data transfer 2. Configuration of modules, ports & network 3. User process application downloading & monitoring 4. Events and short messages handling 5. Broadcasting 6. Remote diagnostics of hardware & software 7. Retrieval of error messages from site logs 8. Calibration of I/Os in A/D and D/A modules 9. Communication analysis and statistical data accumulation	Application Layer
1. Structure Rx/Tx 2. Format conversion	Presentation Layer
1. Session control and sync 2. Message control & error handling 3. Single frame messages	Session Layer
1. End-to-end completeness 2. Frame sequencing, checking and acknowledgement 3. Multiplexing logical channels	Transport Layer
1. Data routing between links 2. Store & Forward to same link 3. Communication fail handling and rerouting	Network Layer
1. Frame sequencing, checking and acknowledgement 2. From/to addressing 3. Broadcasting 4. Channel access priorities	Multi-link Layer
CRC 1. Bit level encoding & decoding 2. Data and flags (frame sync) 3. FSK, MSK, DPSK, Direct FM modulation 4. Channel access: conventional radio, trunked radio, data radio, microwave, wire-line, dial-up modem, RS-232, RS-485, LAN etc.	Physical Layer

Lo interesante del protocolo es que puede ser transportado por múltiples medios, como radios en diferentes modulaciones, modem celular, modem satelital, comunicación TCP, RS232, RS485, RS422, entre otros. Esto sumado a la seguridad que ofrece para los datos lo convierten en un protocolo deseable para las compañías que prefieren seguridad en sus comunicaciones.

E. Equipos de inyección de odorante.

Los equipos de inyección odorante son dispositivos electrónicos con partes neumáticas que permiten la inyección del líquido odorante para el gas natural. Este líquido debe ser inyectado cuidando la velocidad y la cantidad de inyección a modo de garantizar que el gas natural sea dotado de olor de forma correcta.

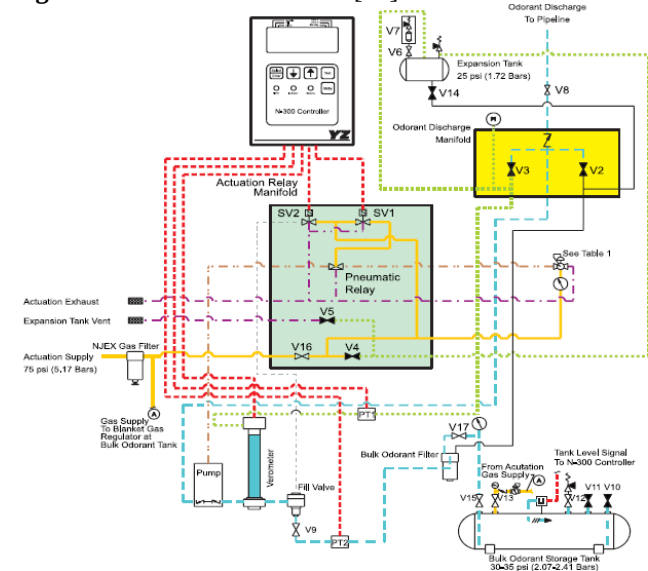
1) Equipo Odorizador YZ NJEX7300G

La operación del 7300G se centra alrededor de tres componentes primarios: la bomba modelo 7000, el Barómetro modelo VM-1100 y el controlador del modelo N-300G. [12]

Durante la operación normal, la bomba del modelo 7000 inyecta una cantidad exacta de odorante en una velocidad determinada por el controlador N-300G. La cantidad de odorante inyectada por stroke (porción de inyección), se fija usando un espaciador en el ensamble de actuación de la bomba. La velocidad a la cual se acciona la bomba es determinada por el controlador N-300G. [12]

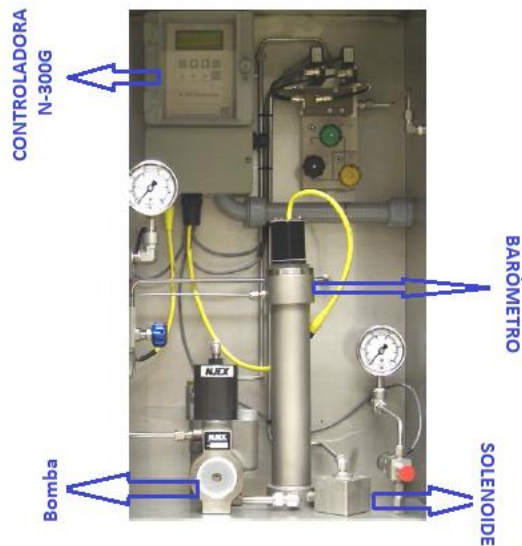
El Barómetro VM-1100 funciona como un medidor compensado por temperatura que verifica la cantidad de odorante inyectada por la bomba modelo 7000. El controlador N-300G utiliza una señal de entrada del Barómetro para determinar la cantidad de odorante que se ha inyectado, así como el nivel de odorante dentro del Barómetro. Una vez que el nivel de odorante baja a un punto predeterminado de nivel bajo, el controlador N-300G actúa una válvula solenoide que abre la válvula de llenado, permitiendo que el Barómetro sea rellenado. Una vez que se llena el Barómetro, el controlador N-300G cierra la válvula de llenado. [12]

Figura 15. Plano NJEX 7300G [12]



El controlador N-300G permite que el sistema NJEX7300G funcione en dos modos, un modo basado en tiempo o un modo proporcional al flujo. En el modo de operación basado en tiempo, el controlador N-300G acciona la bomba de modelo 7000 en un intervalo regular del tiempo preestablecido por el operador. [12]

En el modo de operación proporcional de flujo, el controlador usa una señal de entrada de velocidad de flujo de gas proporcionada por el cliente y varios valores de entrada por el operador para calcular el tiempo entre stroke de la bomba. Estos valores de entrada por el operador incluyen la velocidad de inyección del odorante (lbs/MMCF o mg/m3), el desplazamiento de la bomba (cm3/stroke), y la densidad del odorante (lbs/gal o g/cc). La señal de entrada del flujo es proporcionada por el cliente por un computador de flujo u otros dispositivos de monitoreo de flujo. De esta forma, el controlador tiene la capacidad a distinguir entre una situación baja de flujo y una pérdida de señal de entrada de flujo. Para sistemas con las entradas analógicas, si ocurre una pérdida de señal de flujo, el controlador regresa automáticamente de nuevo a un porcentaje preseleccionado de la entrada de flujo. [12]

Figura 16. Fotografía YZ NJEX 7300G [12]

La característica más destacable del NJEX7300G, es precisamente la precisión en el cálculo de las porciones de inyección (stroke), esto es posible gracias a los algoritmos que se ejecutan en el controlador N300G que le permiten ejecutar la ecuación de porción de inyección que se muestra en la **Figura 17. Ecuación del tiempo entre Stroke [12]**

Figura 17. Ecuación del tiempo entre Stroke [12]

1. Pump displacement (.02 to .1 cc)	=	a	
2. Odorant density (lb/gal or g/cc)	=	b	
3. Desired injection rate (lb/MMCF or mg/m ³)	=	c	
4. Average flow rate (MCF/hr or m ³ /hr)	=	d	
5. Timer setting			
a. English	=	$\frac{a \times b \times 15.8503^*}{c \times d}$	
b. Metric	=	$\frac{a \times b \times 60000^*}{c \times d}$	
		Example #1	Example #2
pump displacement	(a) =	.05 cc	.05 cc
odorant density	(b) =	6.80 lb/gal	.815 g/cc
injection rate	(c) =	.5 lb/MMCF	8 mg/m ³
flow rate	(d) =	6.00 MCF/hr	170 m ³ /hr
Example #1 timer setting =		$\frac{.05 \text{ cc} \times 6.8 \text{ lb/gal} \times 15.8503^*}{.5 \text{ lb/MMCF} \times 6 \text{ MCF/hr}}$	$\frac{.05 \text{ cc} \times .815 \text{ g/cc} \times 60000^*}{8 \text{ mg/m}^3 \times 170 \text{ m}^3/\text{hr}}$
		= 1.80	= 1.80

Esta ecuación nos permite entender cómo se relacionan las variables de desplazamiento de la bomba, densidad del odorante, tasa de inyección deseada y el flujo de gas presente con el tiempo entre cada porción de inyección. Es decir, cada cuanto tiempo se debe inyectar odorante de acuerdo con el flujo o velocidad del gas dentro de la tubería.

V. METODOLOGÍA

Para lograr que el desarrollo del proyecto sea más eficiente se separaron las actividades a ejecutar en fases de desarrollo.

- Fase 1. validación de viabilidad.
- Fase 2. Diseño y desarrollo de automatización Local (estación la Flora).
- Fase 3. Establecimiento del lazo de comunicación.
- Fase 4. Diseño e implementación de monitoreo y control en centro de control.
- Fase 5. Pruebas de confiabilidad y puesta en operación.

1) Validación de viabilidad.

Para validar la viabilidad de la solución de automatización, será necesario recolectar la información técnica de los dispositivos electrónicos que harán parte y objeto del desarrollo.

a) Información del sistema SCADA actual.

Para garantizar una integración correcta de la automatización de la estación la flora al sistema SCADA actual, se deben recolectar, clasificar y analizar los documentos de construcción del sistema SCADA a fin de diseñar y planear la integración con base a los lineamientos ya establecidos en el performat del centro de control de GDO (Gases de occidente).

Los documentos base para el desarrollo y planeación de las actividades de integración serán los informes ASBUILT de construcción e ingeniería del sistema SCADA actual, así como los manuales que ofrece AVEVA, en su sitio web, para el desarrollo de sistemas SCADA sobre su plataforma AVEVA SYSTEM PLATFORM.

b) Información sobre dispositivo NJEX7300G.

Con el fin de establecer la estrategia de automatización sobre el equipo de inyección de odorante, se deberá recolectar y analizar la información técnica del equipo, contenida en los manuales de operación que están disponibles la página oficial del fabricante.

c) Información de las RTUs ACE3600.

Las RTUs ACE3600 serán los dispositivos directamente responsables de la automatización del sistema de inyección de odorante, tanto la RTU que estará en la estación la flora como la RTU que se encuentra en el centro de control, con perfil de FEP. Por ello resulta imperativo recolectar información para conocer las especificaciones técnicas de sus puertos de comunicación y adicionalmente conocer las rutinas de programación con las que ya cuenta el FEP del sistema, para de esa forma diseñar las rutinas de comunicación que tendrá la RTU de la flora, a fin de que se logre una integración fluida entre los dos equipos.

d) Información de los Modem Midge2.

El sistema de GDO ya implementa módems MIDGE2 en algunas de sus estaciones por lo que se escogieron para ser el medio de comunicación entre el centro de control y la estación la flora, sin embargo, es importante recolectar los manuales de

instalación y operación del equipo para lograr la configuración adecuada del dispositivo.

Con la información recolectada, será posible confirmar o negar la viabilidad de la solución propuesta para la automatización del sistema de inyección de odorante en la estación la flora a Trávez del método de inyección proporcional al flujo.

2) *Diseño y desarrollo de Automatización local.*

En esta fase del proyecto se diseñará la estrategia de automatización para la inyección de odorante por medio del método proporcional al flujo.

Todas las actividades concernientes a esta fase del proyecto se centrarán en la estación la flora.

Siendo conscientes de que en la estación no se cuenta con un brazo de medición de flujo de gas, el diseño de esta solución estará apoyado en las alternativas encontradas en la documentación recolectada y analizada en la fase de validación de viabilidad. A partir de este punto se realizarán los diseños de la aplicación y la estrategia de automatización de la solución teniendo en cuenta los parámetros de seguridad y confiabilidad de la información.

3) *Establecimiento del lazo de comunicación.*

En esta fase se determinarán los recursos necesarios y estimación de consumo de datos para el enlace de comunicación. Con esos datos se solicitará la simcard al operador celular con la VPN privada que utiliza GDO, esto a fin de cumplir con las políticas de ciberseguridad de la compañía.

Luego de obtener la simcard adecuada y determinar los elementos de instalación, se realizará la configuración del equipo MIDGE 2 que prestará servicio en la estación la flora.

4) *Diseño e implementación de monitoreo y control en centro de control.*

Para esta fase del proyecto se diseñarán las pantallas de monitoreo y control concernientes al sistema de inyección de odorante la flora, para lograr este objetivo se deberá:

1. Adicionar las señales del sistema de odorización al Driver de adquisición de datos DASERVER. Del sistema SCADA actual en centro de control GDO.
2. Diseñar y adicionar los objetos de visualización de la estación.
3. Diseñar y adicionar los scripts de control necesarios.
4. Diseñar las pantallas de monitoreo y control de acuerdo con el estándar grafico de GDO.

5) *Pruebas de confiabilidad y puesta en marcha.*

Para esta fase del proyecto se deberán realizar las pruebas de funcionamiento del sistema en general, donde se probarán los

comandos de cambio de tabla de flujos y todas las funcionalidades diseñadas para el sistema de monitoreo y control. Adicionalmente se recolectarán datos para validar que la inyección del odorante se está realizando de forma correcta y finalmente si los resultados de las pruebas y evidencias de funcionamiento son satisfactorios, se declarara la estación como en marcha para la operación.

VI. DESARROLLO DE AUTOMATIZACIÓN EN ESTACIÓN LA FLORA

Para el desarrollo de la automatización de inyección de odorante con técnica de inyección proporcional al flujo, se siguieron los siguientes pasos:

- Validación de viabilidad técnica.
- Diseño de la solución local.
- Desarrollo de la aplicación en la RTU.

A. *Validación de viabilidad técnica.*

Para validar la viabilidad técnica de la automatización, se consultó el manual del fabricante del equipo de inyección de odorante y se encontró que el equipo NJEX7300G, tiene compatibilidad operacional tanto para el método de inyección proporcional al tiempo, como para el método proporcional al flujo.

El equipo de inyección de odorante se encontraba configurado por el método proporcional al tiempo, debido a que para poder operar a Trávez del método proporcional al flujo, método más eficiente, debe contar con una señal de 4 a 20 mA o 1-5 VDC o una señal de pulsos que indique el flujo actual de la tubería a abastecer. Dicha señal no puede ser suministrada a raíz de la falta de instrumentación necesaria en sitio y la desmotivación para instalarla, este último causado por el alto costo de implementación y los requerimientos de mantenimiento que exige.

Figura 18. Requerimiento de señal de caudal de gas [12]
SECTION 1: FIRST THINGS TO KNOW ABOUT THE 7300G

Operation Specifications

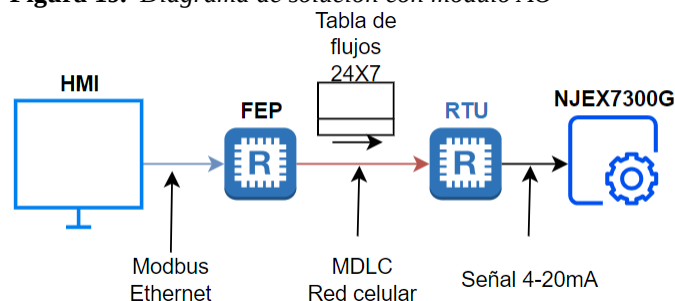
Maximum Odorant Output:	17.6 gallons/day (67 liters/day)
Maximum Operating Pressure:	1,440 psig (99.28 Bar (g))
Operating Temp Range:	0 to 140 degrees F. (-17°C to 60°C)
Power Supply:	SPS-12 solar panel, std. LPS-120/240 volt- 50/60Hz AC charger, opt.
Battery Reserve 1:	Approximately 30 days
Gas Flow Rate Input Signal:	1-5 VDC, 4-20 mA or pulse

Si bien la estación la flora no cuenta con la instrumentación necesaria para calcular el flujo de gas en la tubería, una solución alternativa sería: generar la señal de flujo de gas a través de un módulo I/O de salidas analógicas de 4 a 20 mA. Para esta solución se tomaría el dato de flujo de la tabla 24X7, que envía el centro de control y se transformaría a valores de registro del

convertor digital análogo (D/A), de uno de los canales del módulo de salidas analógicas. Esta solución presenta una viabilidad técnica.

Para la implementación de esta solución será necesario importar el módulo de salidas analógicas FLN3816 (AO 4-20 mA) o el módulo FLN3815 (1-5 VDC), compatibles con el catálogo de la RTU ACE3600.

Figura 19. Diagrama de solución con modulo AO



Aunque la solución encontrada, en este punto, es completamente viable desde el punto de vista técnico. La importación del módulo representa una dificultad debido a la crisis mundial suscitada por la escasez de semiconductores que impacta directamente los tiempos de entrega de equipos electrónicos. Entendiendo que el cronograma de actividades del proyecto no soportaría esperas tan largas, se continúa buscando alternativas de solución.

Siguiendo con la investigación del equipo NJEX7300G, Se encontró que en la sección 5 del manual de operación se establece un concepto de Flow no signal, o perdida de la señal de flujo.

Figura 20. Evento Flow no signal [13]

Flow (no signal)

The flow (no signal) input setting, is the predetermined percentage of max gas flow that the operator would like the controller to default to in the event that the actual flow input signal is lost.

Note: the Flow (no signal) input functions will only be active with analog input signals 1-5 VDC and 4-20 mA.

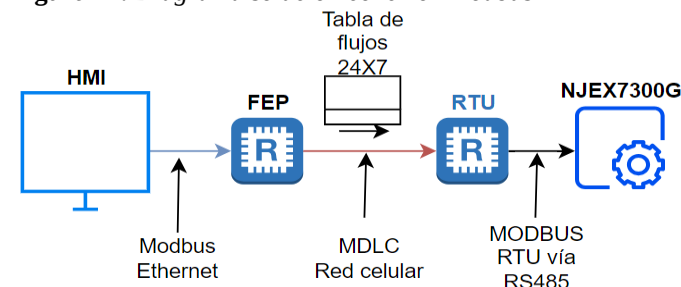
El estado de Flow no signal, indica que cuando se configura el método de inyección proporcional al flujo y la señal del instrumento de 4-20 mA, se pierde o se desconecta, se podrá configurar un parámetro que indique el flujo por defecto que el controlador N-300G, tomará para continuar con la inyección de odorante. Esta es una condición de contingencia operacional que puede ser aprovechada como alternativa para la operación del equipo en modo proporcional al flujo, sin la necesidad de contar con un patín de medición de flujo de gas ni con un módulo de AOs en la RTU.

De esta forma se encuentra otra alternativa de solución de automatización en donde se configura el NJEX7300G, con

método proporcional al flujo, no se conecta señal analógica (Gas Flow Rate Input signal), y se aprovechan los valores de que el controlador N-300G utiliza por defecto ante una desconexión de la señal de flujo de gas.

Para hacer posible esta integración será necesario establecer comunicación MODBUS RTU vía RS485, entre la RTU y el equipo NJEX7300G, para poder reescribir los valores por defecto de flujo de gas ante una desconexión de la señal de flujo.

Figura 21. Diagrama solución conexión modbus



Por último, si se considera que la documentación del fabricante del equipo NJEX7300G, proporciona la ecuación que aplica el equipo cuando está configurado por el método proporcional al flujo (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Otra posible solución de automatización sería: desarrollar una aplicación en la RTU de la flora que realice este cálculo y escriba mediante modbus los valores de tiempos entre stroke que es lo que finalmente hace el método proporcional al flujo.

Para esta solución sería necesario, generar una comunicación modbus mediante RS485, configurar el equipo NJEX7300G, en el método proporcional al tiempo y rescribir los valores de tiempo de Stroke cada hora de acuerdo con la tabla 7 X 24, suministrada por el centro de control de GDO.

B. Diseño de la solución Local.

Con los hallazgos obtenidos en la fase de validación de viabilidad, se concluye que hay tres formas de establecer la solución de automatización para la inyección de odorante mediante el método proporcional al flujo.

Las tres soluciones comparten el mismo principio, que es: determinar los tiempos de stroke de acuerdo con los flujos de la tabla 7 X 24 (7 días de la semana, 24 horas del día), proporcionada por el centro de control. La tabla proporciona la información del flujo que atraviesa a la estación la flora, cada hora durante los 7 días de la semana. Esta es la información que requiere el sistema de automatización para inyectar el odorante de acuerdo con el flujo de gas. A continuación, se presenta un ejemplo de la tabla 7 X 24.

Tabla 4. *Tabla de flujos 7X24 la flora*

H ora	L UN	M AR	M IÉ	J UE	VI E	S ÁB	D OM
0 :00	58 75,4 1	65 69,9 3	64 72,9 3	65 50 4	64 64,4 4	64 01,1 5	56 17,2 9
1 :00	57 01,9 4	63 71,9 9	62 94,6 5	65 42,3 2	63 27,5 9	63 27,4 9	54 10,1 8
2 :00	56 21,4 1	64 05,5 7	62 89,7 6	65 14,5 3	63 39,5 4	63 07,9 5	53 80,3 2
3 :00	57 62,5	65 84,9	65 00,4 9	66 81,9 4	65 96,7 8	62 44,5 9	52 56,4 1
4 :00	68 79,4 1	77 66,9 7	77 13,9 4	79 87,6 1	80 54,3 4	70 61,0 9	55 10,6 3
5 :00	85 69,5 4	99 73,9 5	99 41,0 1	10 232, 47	10 135, 73	84 46,8 9	58 03,8 4
6 :00	10 262, 55	11 969, 59	11 825, 32	12 285, 29	12 172, 26	10 104, 35	66 54,3 8
7 :00	11 237, 06	12 811, 37	12 613, 76	12 800, 41	13 034, 62	11 544, 27	78 40,9 8
8 :00	11 882, 14	13 410, 47	13 114, 79	13 541, 25	13 692, 72	12 531, 92	91 41,4 1
9 :00	12 386, 36	13 653, 6	13 290, 62	13 753, 85	13 855, 5	12 921, 92	97 68,5 4
1 0:00	13 374, 39	14 447, 69	14 327, 35	14 778, 9	14 767, 91	13 235, 46	10 192, 65
1 1:00	14 829, 16	16 106, 62	15 799, 1	16 227, 81	16 360, 52	14 571, 87	10 934, 59
1 2:00	14 982, 45	15 791, 63	15 631, 05	15 994, 87	15 729, 92	14 823, 34	11 429, 08
1 3:00	12 747, 5	12 980, 85	13 049, 66	13 202, 12	12 966, 99	13 071, 38	10 454, 63
1 4:00	11 101, 74	11 116, 62	11 199, 14	11 447, 76	11 240, 01	11 240, 18	88 30,3 6
1 5:00	10 359, 94	10 250, 66	10 548, 74	10 839, 77	10 530, 28	10 312, 88	77 84,1 6
1 6:00	10 519, 43	10 240, 14	10 421, 81	10 797, 07	10 806, 01	10 137, 43	74 34,7 1
1 7:00	10 438, 91	10 466, 26	10 434, 48	10 781, 26	10 724, 62	10 010, 94	74 61,6 7

1 8:00	11 070, 24	11 174, 83	10 967, 08	11 506, 5	11 397, 6	10 095, 98	76 30,5 7
1 9:00	11 404, 54	11 597, 06	11 343, 4	11 916, 34	11 505, 37	10 208, 08	80 61,2 7
2 0:00	10 321, 78	10 468, 72	10 277, 1	10 864, 85	10 684, 49	96 62,8 2	74 79,1 2
2 1:00	88 54,1 5	90 54,9 4	87 96,0 2	94 87,8 6	93 18,4 6	86 21,9 1	68 91,7 4
2 2:00	77 56,5 3	78 30,7 8	76 71,0 4	80 74,3 6	82 11,7 1	77 23,6 3	62 76,2 3
2 3:00	69 26,2 2	69 69,9 7	67 82,3 5	69 80,8 5	72 14,0 8	69 14,1 9	56 03,9 1

Nota: los valores de la tabla están representados en metros cúbicos por hora.

1) Solución por generación de señal 4-20 mA.

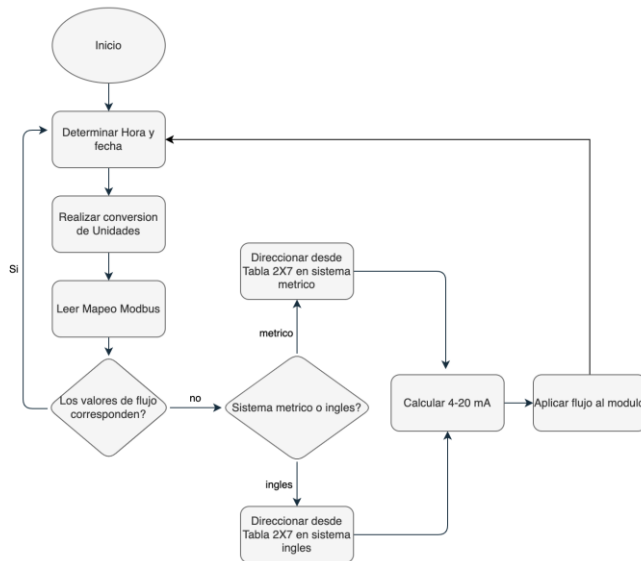
Esta opción de diseño se basa en proporcionar la señal de flujo al equipo de inyección NJEX7300G, basado en la tabla 7 X 24 y de acuerdo con la hora del día.

En esta opción de automatización se deberán cumplir con las siguientes actividades:

- Conectar la RTU y el equipo NJEX7300G a través de RS485, para establecer comunicación vía modbus.
- Conectar cable de instrumentación desde el módulo AO de la RTU hasta la entrada de 4 a 20 mA del equipo NJEX7300G.
- Configurar el equipo NJEX7300G en el modo proporcional al flujo de acuerdo con la sección 5 del manual de operación del dispositivo. (Ver bibliografía 12).
- Diseñar la aplicación de la RTU, para que suministre la señal de flujo de gas adecuada de acuerdo con la hora del día.

a) Diseño de Aplicación en la RTU local solución 1.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la opción de solución 1.

Figura 22. Diagrama de flujo solución 1 (4-20 mA)

En el diseño de la solución se tuvo en cuenta las unidades de ingeniería que maneja el sistema y se encontró la necesidad de realizar conversiones, esto debido a que la tabla de flujos proporcionada por el centro de control se encuentra en m^3/h (metros cúbicos por hora), mientras que la configuración del equipo NJEX7300G, permite configurar el sistema bajo el sistema internacional de unidades SI o bajo el sistema inglés. En ese orden de ideas espera valores de flujo con unidades de m^3/s (metros cúbicos por segundo) o MMCF/h (millones de pies cúbicos por hora).

Debido a la diferencia de unidades de ingeniería que existe entre la tabla 7X24, proporcionada por el centro de control y el equipo NJEX7300G, dentro de la aplicación se deberá generar las conversiones necesarias, de tal forma que se cuente con dos tablas 7X24 adicionales, una en el sistema SI y la otra en el sistema inglés. A continuación, se presentan las operaciones matemáticas necesarias para lograr dichas conversiones.

Para lograr pasar el flujo promedio (F_p), de m^3/h a m^3/s , se aplica la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{X m^3}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = \frac{X m^3}{3600 s} \quad (1)$$

De esa forma si se supone que son las 12 horas del domingo, de acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la estación tendrá un flujo promedio de 11429,08 m^3/h . Antes de suministrar ese valor a el equipo de inyección, se deberá aplicar la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Siempre y cuando el NJEX7300G, esté configurado bajo el sistema SI. A continuación, se aplica la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para $X = 11429,08$.

$$f_p \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{11429,08 m^3}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = \frac{11429,08 m^3}{3600 s} \approx 3,1747 m^3/s$$

Ahora si se llegase a presentar el caso en que el NJEX7300G se encuentre configurado por el sistema de unidades inglesas se debería aplicar la siguiente ecuación:

$$f_p(MMCF/h) = X \cdot \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1 \cdot \frac{MMCF}{h}}{28316,85 \frac{m^3}{h}} = \frac{X \cdot \frac{MMCF}{h}}{28316,85} \quad (2)$$

Aplicando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para $X = 11429,08$.

$$f_p \left(\frac{MMCF}{h} \right) = 11429,08 m^3/h \cdot \frac{MMCF/h}{28316,85 m^3/h} = \frac{11429,08 \cdot MMCF/h}{28316,85} = 0,4036 MMCF/h$$

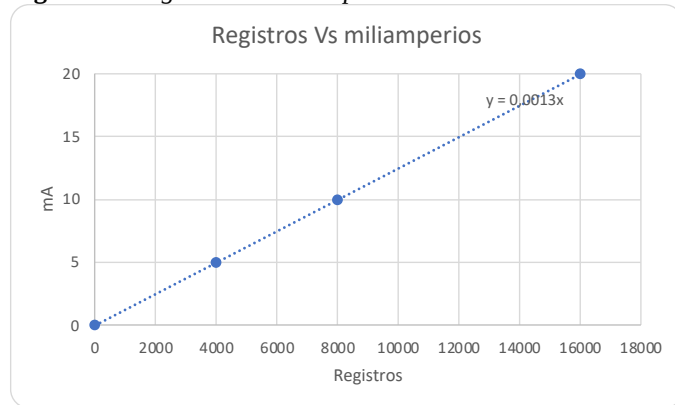
Aplicada la ecuación concerniente a cada sistema de unidades. El paso por seguir es calcular el valor correspondiente de 4 a 20 mA. Para esto, se debe tener en cuenta que dentro de la RTU se utilizan valores lógicos no eléctricos, por lo que los valores de 4 a 20 mA se deben relacionar con los registros del conversor digital a análogo del canal del módulo de AO.

Para todos los canales del módulo de AO existe un conversor digital a análogo de 14 bits, que ofrecen registros desde 0 a 16000 para valores de 0 a 20 mA. [14]

Tabla 5. Registros conversor DA FLN3816 [14]

	Decimal Value	Ouput Current (mA)
In 0-20 mA	0	0
Current Ouput	4000	5
	8000	10
	16000	20

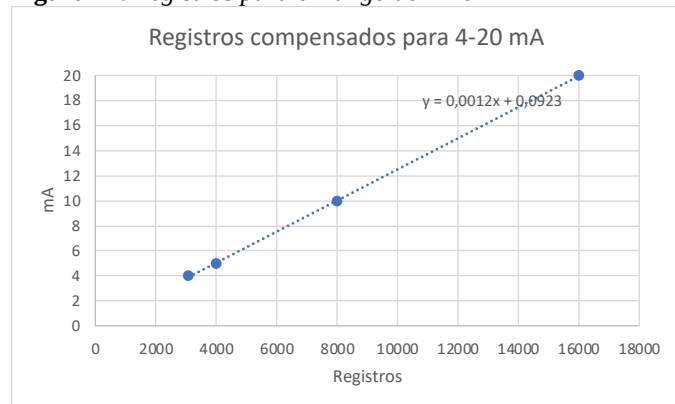
Otra forma de representar la relación entre los registros del conversor digital-análogo y la salida en miliamperios se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 23. Registros vs miliamperios

$$Y = 0,0013X$$

(3)

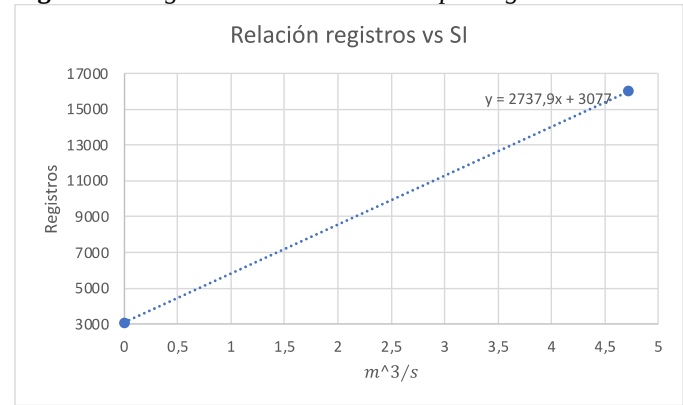
Teniendo en cuenta que el equipo NJEX7300G, recibe valores de 4-20 mA y no de 0-20. Se debe generar un ajuste para encontrar el rango valido de los registros del conversor digital-análogo.

Figura 24. Registros para el rango de 4-20 mA

$$Y = 0,0012X + 0,0923$$

(4)

Teniendo clara la relación entre miliamperios y registros del conversor podemos establecer la relación entre el promedio de flujo y los miliamperios que los representaría.

Figura 25. Registros vs metros cúbicos por segundo

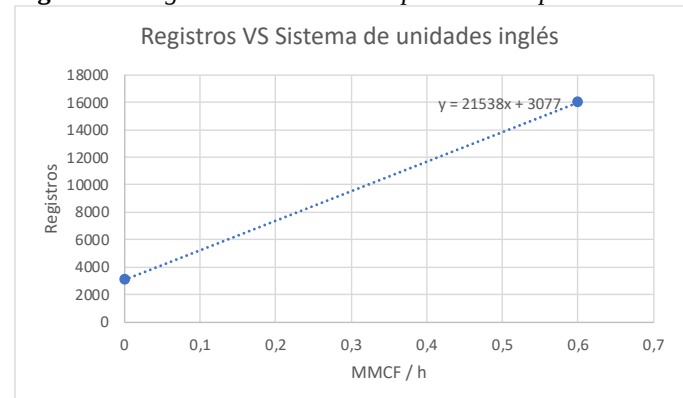
Extrayendo la ecuación del gráfico se tiene que:

$$Y = 2737,9 \cdot X + 3077$$

(5)

Donde Y son los registros del conversor digital-análogo y X es el valor en m³/s.

Lo anterior sería aplicable para el sistema de unidades SI, para el sistema ingles tendríamos que:

Figura 26. Registros vs millones de pies cúbicos por hora

Extrayendo la ecuación del gráfico presentado en la **Figura 26**, se tiene que:

$$Y = 21538 \cdot X + 3077$$

(6)

Donde Y son los registros del conversor digital- análogo y X representa el flujo en MMCF/h.

Retomando el ejemplo del cálculo del flujo de la tabla 7 X 24, para el domingo a las 12 horas. (ver **Figura 24**), el flujo promedio en esa hora del día sería: 11429,08 m³/h, equivalentes a ≈ 3,1747 m³/s o a ≈ 0,4036 MMCF/h

Si el sistema del NJEX7300G, se encuentra configurado en el sistema de unidades SI. Los registros a aplicar estarán dados

por la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Así:

$$Y = 2737,9 \cdot 3,1747 + 3077 \approx 11769,011 \text{ registros}$$

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.,** encontramos la equivalencia en mA.

$$Y = 0,0012 \cdot 11769,011 + 0,0923 = 14,2151 \text{ mA}$$

De la misma forma si el sistema del NJEX7300G, se encuentra configurado en el sistema de unidades inglesas, los valores de registros estarán dados por la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Así:

$$Y = 21538 \cdot 0,4036 + 3077 \approx 11769,7368 \text{ registros}$$

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.,** encontramos la relación en mA.

$$Y = 0,0012 \cdot 11769,7368 + 0,0923 = 14,2159 \text{ mA}$$

Los cálculos anteriores demuestran que independientemente del sistema de unidades configurado en el equipo de NJEX7300G, los valores en mA corresponden en escala teniendo una diferencia de más o menos 0,0008 mA.

Pero si se tiene en cuenta que los registros solo admiten valores enteros la diferencia subiría a más o menos 0,001 mA. Valores que serán tenidos en cuenta para la selección de la mejor solución de automatización.

2) Solución por cálculos de tiempo stroke.

Esta opción de solución es posible debido a que se conoce la ecuación que ejecuta el equipo NJEX7300G, cuando está configurado por el método proporcional al flujo, donde básicamente se calculan los tiempos de stroke para la inyección del odorante. La diferencia entonces entre el método proporcional al tiempo y el método proporcional al flujo es que, en el primer método, el tiempo entre stroke, permanece invariable hasta que el operador, de forma manual, realice un cambio, mientras que el método proporcional al flujo recalcula los tiempos entre stroke de acuerdo con el flujo de gas a odorizar.

De esa forma, aunque en esta opción de solución se deba configurar el equipo por medio del método proporcional al tiempo (ver sección 6 del manual de operación), los valores de tiempo de stroke, no permanecerán fijos debido a que serán reescritos mediante modbus y de acuerdo con los cálculos realizados a partir de la tabla 7 X 24, suministrada por el centro de control de GDO.

Para esta opción de automatización se deberán cumplir con las siguientes actividades:

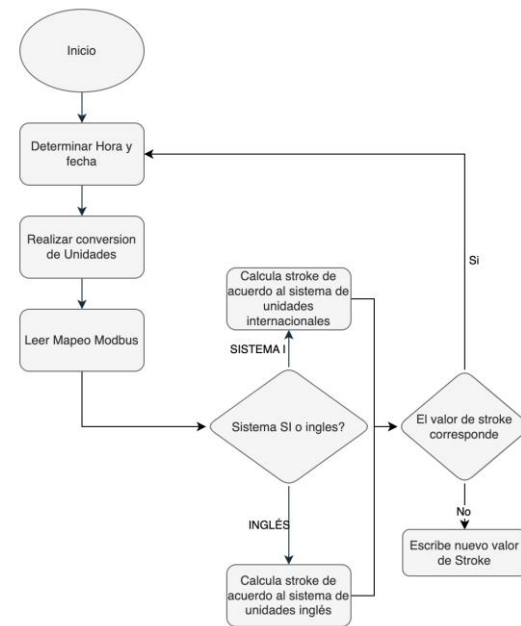
- Conectar la RTU y el equipo NJEX7300G a través de RS485, para establecer comunicación vía modbus.

- Configurar el equipo NJEX7300G en el modo proporcional al tiempo de acuerdo con la sección 6 del manual de operación del dispositivo. (Ver bibliografía 12).
- Diseñar la aplicación de la RTU, para que calcule los tiempos de stroke y rescriba dicho valor vía modbus.

a) Diseño de Aplicación en la RTU local solución 2.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la opción de solución 2.

Figura 27. Diagrama de flujo solución 2



De acuerdo con el diagrama de flujo de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.,** el éxito de la solución depende del cálculo de stroke que se consigue a través de la ecuación que se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** La ecuación se podría interpretar como:

$$Ts = \frac{a \cdot b \cdot k}{c \cdot d} \quad (7)$$

Donde:

Tabla 6. Variables y constantes [12]

Variable	Descripción	Observación
Ts	Timer setting	Tiempo de configuración
a	Pump displacement	Desplazamiento de la bomba (0,02 a 0,1 cc)
b	Odorant density	Densidad del odorante

c	Desired injection rate	Taza de inyección deseada
d	Average flow rate	flujo promedio
k	Constant	Constante de unidad

La constante k es muy importante en el cálculo, debido a que si el equipo NJEX7300G, se encuentra configurado en el sistema inglés el valor deberá ser: 15,8503 y si está configurado bajo el sistema de unidades internacionales el valor de k debe ser: 60000.

Al igual que la constante k, la mayoría de las variables son impactadas por el sistema de unidades. La siguiente tabla presenta las unidades de cada variable de acuerdo con el sistema métrico configurado en el equipo.

Tabla 7. Unidades para el cálculo de ts [12]

Variable	Unidades Inglesas	Unidades SI
a	cc	cc
b	Lb/gal	g/cc
c	Lb/MMCF	mg/m ³
d	MCF/h	m ³ /h

Teniendo en cuenta la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, si suponemos que es el domingo a las 12 horas, el valor de flujo promedio deberá ser 11429,08 m³/h, de acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Por tanto, el valor de stroke o tiempo de configuración dependerá de la configuración de unidades del equipo NJEX7300G.

Para valores de Ts de acuerdo con el sistema internacional de unidades. El flujo promedio (variable d), ya cumple con las unidades requeridas para el cálculo, por lo que solo se procederá a reemplazar valores en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

$$Ts = \frac{0,05cc * 0,815 \frac{g}{cc} * 60000}{8 mg/m^3 * 11429,08 m^3/h} = \frac{2445}{91432,64} = 0,0267 minutos$$

Para valores de Ts, de acuerdo con el sistema inglés de unidades la variable de flujo promedio debe ser convertida a valores de MCF/h (miles de pies cúbicos por hora).

$$fp(MCF/h) = 11429,08 m^3/h * \frac{0,03531 MCF/h}{1 m^3/h} = 403,56 MCF/h$$

Por tanto y de acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

$$Ts = \frac{0,05cc * 6,80 \frac{lb}{gal} * 15,8503}{0,5 lb/MMCF * 403,56 MCF/h} = \frac{5,3891}{201,78} = 0,0267 minutos$$

Como se observa Ts será el mismo tanto para el sistema de unidades internacionales como para el sistema inglés de unidades, siempre y cuando se respeten las unidades de cada variable dentro del cálculo.

Habiendo calculado el tiempo de stroke, solo resta describir el valor en el registro modbus correspondiente. La siguiente tabla presenta los registros en cuestión.

Figura 28. Parámetros de funcionamiento modbus [12]

Parameter functions

The result data functions available via Modbus are listed below. The registers are accessed using Modbus functions 3, 6, and 16.

Note: The system must be stopped in order for any parameter changes to be accepted. An exception response will be returned if a parameter change query is issued while the system is running. Once the parameter changes have been made, use coil 00009 to save the updated parameters before restarting the system.

Address	Access	Description
40101	Read Only	Current Date (Day of Month / Month) (01-31 / 01-12) – BCD
40102	Read Only	Current Date (Century / Year) (0000-9999) – BCD
40103	Read Only	Current Time (Seconds / Minutes) (00-59 / 00-59) – BCD
40104	Read Only	Current Time (Hours / Day of Week) (00-23/01-07) – BCD
40105	Read/Write	Injection Rate – Unsigned Integer *See formatting info.
40106	Read/Write	Pump Displacement (cc/Stroke) – Unsigned Integer *See formatting info.
40107	Read/Write	Odorant Density – Unsigned Integer X.XX (GE/L = lbs/gal, GML/L = g/cc)
40108	Read/Write	Proportional to Time Stroke Rate X.XX (minutes) – Unsigned Integer
40109	Read/Write	Maximum Gas Flow – Unsigned Integer *See formatting info.
40110	Read/Write	Low Flow Shutoff (xx.x of Max Gas Flow) – Unsigned Integer
40111	Read/Write	Flow No Signal (xx.x of Max Gas Flow) – Unsigned Integer
40112	Read/Write	Maximum time per stroke (xxx minutes/stroke) – Unsigned Integer
40113	Read/Write	Odorant Output (lbs/pulse) – Unsigned Integer *See formatting info.
40114	Read/Write	Pulses per Second (xx Pulses/Seconds) – Unsigned Integer
40115	Read/Write	Pulses per Minute / Pulses per Gallon (xx Pulses/Minute - Gas, xx Pulses/Gal- Liquid PPMV) – Unsigned Integer

3) Solución Por evento Flow no signal.

Esta opción de solución es posible debido a que existen valores por defecto que se configuran como parte de una contingencia en el modo proporcional al flujo del equipo NJEX7300G. Estos valores indican el valor de flujo promedio que se debe tener en cuenta en el evento, en que la señal de 4-20 mA se desconecte.

Siendo así, esta solución podría ser complemento de la solución 1, o trabajar por si sola. Si no se contara con el módulo de salidas análogas, la variable de flujo promedio sería reescrita hora a hora debido a que la contingencia Flow no signal, estaría habilitada todo el tiempo.

Para lograr esta solución se deberá identificar la variable de flujo promedio que utiliza el sistema en el evento Flow no signal, y establecer las rutinas de escrituras modbus necesarias.

De acuerdo con el manual de operación del equipo NJEX7300G, la variable Flow no signal corresponde a un valor de porcentaje que se aplica al valor máximo de flujo que se espera. ambos registros son editables vía modbus. A continuación, se presenta una tabla con las características más relevantes del equipo.

Tabla 8. Variables influyentes en el evento Flow no signal.[12]

Dirección modbus	Acceso	Descripción
40109	Lectura-Escritura	Máximo flujo de gas (XX, XXX MMCF/h) o (XXX, XX m ³ /s)
40111	Lectura-Escritura	Flow no signal XX, X del máximo flujo de gas.

La variable Flow no signal representa el porcentaje del valor máximo de gas esperado, que se aplicará en el cálculo de Ts.

De esa forma, si se considera que son las 12 horas del domingo. De acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el flujo de gas es 11429,08 m³/h. Si el valor máximo de gas esperado se establece como 17000 m³/h o su equivalente en m³/s o MMCF/h. El flujo a inyectar sería:

$$\text{Flow no signal} = \frac{11429,08 \cdot 100\%}{17000} = 67,22 \%$$

De acuerdo con la descripción de la variable Flow no signal, de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, esta variable solo admite un decimal, por lo que es necesario aproximar el resultado a 67,2.

Finalmente, al reescribir la variable Flow no signal, el equipo NJEX7300G, aplicará la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para determinar el tiempo de stroke adecuado.

C. Desarrollo de la aplicación sobre la RTU.

Luego de evaluar los pros y contras de las tres opciones de solución, se escoge la opción de solución 3 (Solución por evento Flow no signal). Los argumentos de la decisión son:

- No se cuenta con módulos de AO para la RTU de la flora y los tiempos de importación son demasiado extensos. Por lo que la opción de solución 1 (solución por generación de señal 4-20 mA), no se puede implementar.
- Se prefiere, que el cálculo de stroke sea realizado por equipo NJEX7300G, y no por la RTU, debido a que el fabricante garantiza la exactitud del cálculo y de esa forma se evitan desviaciones por aproximación de decimales. Por esta razón se descarta la opción de solución 2 (solución por cálculo de tiempo de Stroke).
- Implementando la solución 3, a futuro se podría adicionar el módulo de AO y robustecer la solución.

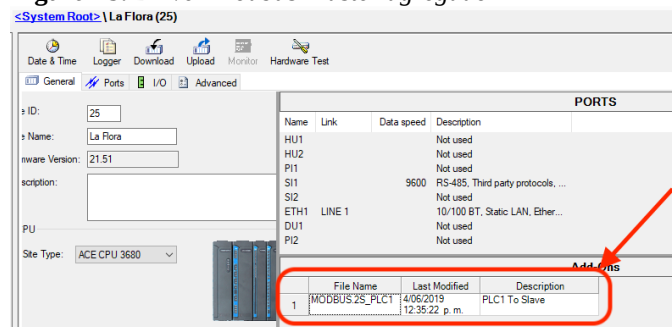
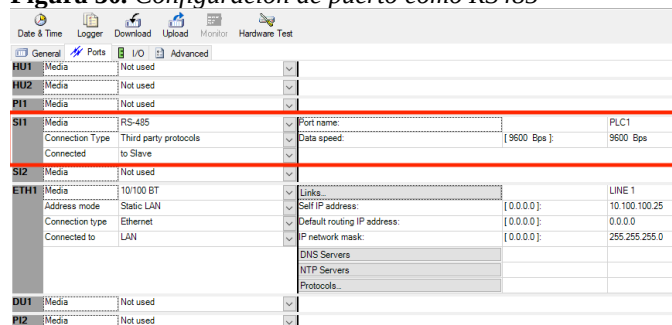
A continuación, se presentan las evidencias de la implementación de la solución 3, sobre la RTU de la estación la flora.

1) Perfil modbus de la aplicación.

La primera tarea para el desarrollo de la aplicación local de la flora es configurar la RTU como maestro modbus vía RS485,

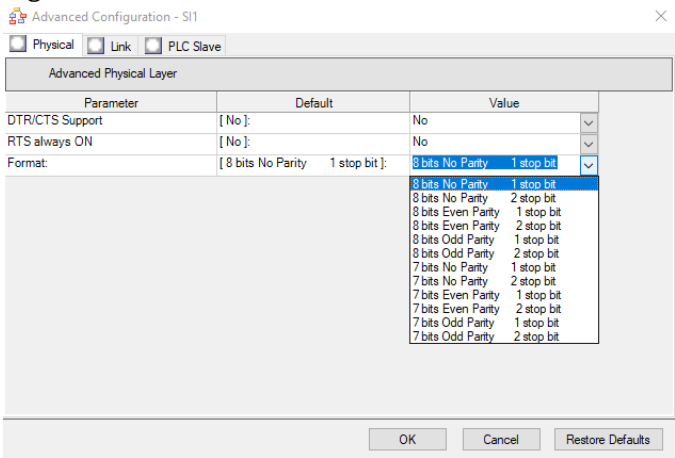
para lo cual se deben cumplir con las siguientes actividades en el software de configuración y programación STS.

- Agregar Driver modbus maestro.
- Configurar el puerto de comunicación para modbus.
- Establecer el o los esclavos del maestro.
- Configurar las tramas de encuestas de lectura.
- Configurar las encuestas de escritura.

Figura 29. Driver Modbus Master agregado**Figura 30.** Configuración de puerto como RS485

Además de establecer el puerto como RS485 para modbus, se deben configurar los parámetros de comunicación. De acuerdo con el manual del equipo NJEX7300G, los parámetros de comunicación son: 8 bits de palabra, sin paridad, un bit de stop y la comunicación se establecerá a 9600 baudios. A continuación, se presenta dicha configuración para la RTU.

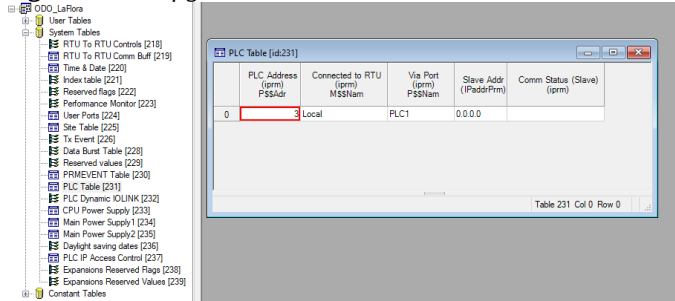
Figura 31. Parámetros de comunicación serial



Para la comunicación de la RTU con el equipo NJEX7300G, el equipo de odorización tendrá el id de esclavo 3. Por lo que, en la tabla de PLC, se estableció este esclavo con acceso a través del driver PLC1 y el puerto SI1.

Nota: fíjese que en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que el puerto SI1 ha sido relacionado con el driver PLC1 (campo Port name).

Figura 32. Configuración de esclavo



Para la configuración del esclavo a consultar no se requiere establecer IP, debido a que la comunicación será serial mediante RS485.

Configurado los parámetros del maestro modbus, el paso a seguir es establecer las tramas de lectura, para acceder a los datos del esclavo (NJEX7300G). Para esto, se debe tener en cuenta que la programación de las RTUs ACE3600 mediante la suite STS, se realiza por lenguaje de programación Ladder y que todas las funciones se realizan desde y hacia las tablas de la base de datos. En ese orden de ideas se deberán crear tablas de datos simples (solo una columna) o múltiples (de 1 a 8 columnas), con los tipos de datos compatibles con el driver modbus. A continuación, se presenta una tabla con los tipos de datos disponibles para la comunicación modbus.

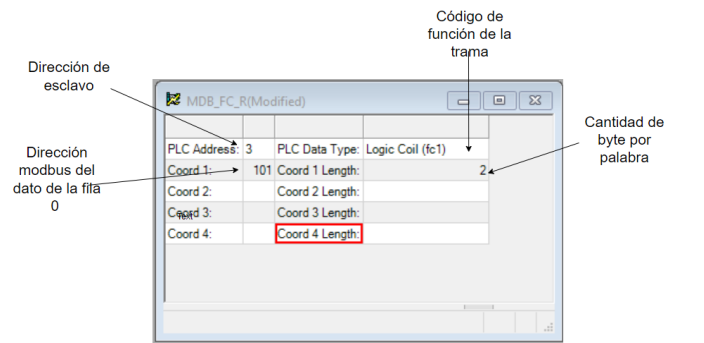
Tabla 9. Tipos de datos Driver modbus ACE3600 [4]

Tipo de dato	Siglas	Descripción
--------------	--------	-------------

PLC Discrete input	PLCdi	Este tipo de dato permite la lectura de bits mediante código de función 01 o 02.
PLC Discrete output	PLCdo	Este tipo de datos permite la escritura de bits mediante código de función 05 o 15
PLC Value Input	PLCvi	Este tipo de datos permite la lectura de enteros mediante los códigos de función 03 y 04.
PLC Value Output	PLCvo	Este tipo de datos permite la escritura de valores enteros mediante los códigos de función 06 o 16.
PLC Real Input	PLCri	Estos tipos de datos permiten la lectura de valores reales. Código de función 03
PLC Real Output	PLCro	Estos tipos de datos permiten la escritura de tipos reales. Código de función 16

Quando se crea una columna en una tabla simple o múltiple, con uno de los tipos de datos descritos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el sistema creará una plantilla de configuración en la sección IO LINK, donde se deberá configurar la trama para la consulta de dicha columna, donde se debe establecer: el esclavo al que va dirigida la trama, la dirección de dato modbus del primer dato a consultar, el código defunción que debe llevar la trama y la cantidad de byte que tendrá cada palabra. Es importante tener en cuenta que la cantidad de datos a consultar en la trama estará dada por la cantidad de filas que tenga la tabla donde está la columna en cuestión. A continuación, se presenta un ejemplo de configuración de plantilla de trama modbus.

Figura 33. Plantilla de configuración de trama modbus



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta la configuración de una plantilla de trama modbus, para una columna creada con tipo de dato PLCdi. En esta trama se desea leer 11 bits del esclavo 3, mediante el código de función 01, el primer registro o dato se encuentra marcado con la dirección 000101. para garantizar que se lean los 11 bits, se debe tener 11 filas en la columna creada, de esa forma el driver modbus de la RTU entenderá que la cantidad de filas en la columna con tipo de dato PLCdi, corresponde a la cantidad de datos a leer, y que debido a que la dirección de datos de la fila

0, es 000101, debe solicitar los datos con direcciones de la 000101 a 000111.

Entendidas las condiciones anteriores, se procede a configurar las tramas de lectura modbus, para la adquisición de los datos de operación y control del equipo de odorización.

El equipo de odorización NJEX7300G, tiene 5 bloques de lectura que son del interés de operación de GDO, estos bloques son:

Tabla 10. Bloques modbus del NJEX7300G [12]

Bloque	Acceso	Descripción
1_Control Functions (Direcciones 00001 a 00011)	Lectura a escritura	Este bloque de datos es de tipo Coil, es decir que permite tanto de lectura (código de función 01) como de escritura (código de función 5), y permite realiza controles tales como detener la inyección del odorante, guardar cambios de parámetros en EEPROM, entre otros.
2_Status Functions (Direcciones 00101 a 00121)	Solo Lectura	Este bloque de datos es de tipo discrete input, es decir que solo puede ser leído mediante código de función 01 y presenta el estado de las funciones de operación del odorante.
3_Alarm Functions (Direcciones 01001 a 01025)	Solo Lectura	Este bloque de datos es de tipo discrete input, es decir que solo puede ser leído mediante código de función 01 y presenta el estado de alarmas del odorante.
4_Integer Registers (Direcciones 40001 a 40026)	Lectura a (recomendada)	Este bloque de datos es de tipo holding register, es decir que solo puede ser leído mediante código de función 03 y presenta los resultados de los parámetros de configuración y control disponibles en el equipo. Nota: aunque es técnicamente permitido por el protocolo escribir sobre este bloque utilizando los códigos de función 6 y 16, el manual del dispositivo los marca como solo lectura y el equipo no permitirá escritura sobre ellos.
5_Parameter Functions (Direcciones 40101 a 40121)	Lectura a y/o escritura	Este bloque de datos es de tipo holding register, es decir que solo puede ser leído mediante código de función 03 y escritos por código de función 06 o 16. Presenta los parámetros de control y operación, algunos

Bloque	Acceso	Descripción
	o	de estos registros pueden no ser compatibles con la escritura.

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede concluir que todo el mapeo modbus puede ser leído, pero no todo pueden ser escritos por el maestro. Para el desarrollo de la automatización se establecerá la lectura de todas las variables disponibles en el equipo de odorización. Cada bloque de datos será consultado por medio de una sola trama, para lo cual se crearon tablas simples, una por cada bloque. A continuación, se presenta las evidencias de configuración de cada bloque de datos dentro de la aplicación de la RTU.

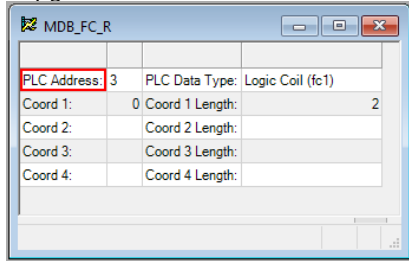
Figura 34. Bloque 1 [12]

Address	Access	Description
00001	Read/Write	Start/Stop the pump (toggle)
00002	Read/Write	System Standby (toggle)
00003	Read/Write	Reset Accumulated Stroke Count
00004	Read/Write	Reset Accumulated Odorant Injected
00005	Read/Write	Fill Verometer (toggle)
00006	Read/Write	Start/Stop a Load Cycle (toggle) (Liquid System Only)

Figura 35. Bloque 1 [12]

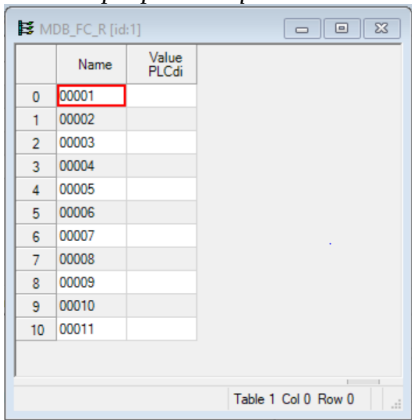
Address	Access	Description
00007	Read/Write	Local/Remote Load Cycle Control (toggle) (Liquid System Only)
00008	Read/Write	Proportional to Time/Flow mode (toggle)
00009	Read/Write	Save Parameters to EEPROM
00010	Read/Write	Remote Inhibit / Run the N-300 (toggle)
00011	Read/Write	Local/Remote Inhibit Control (toggle)

Figura 36. configuración de trama de lectura Bloque 1



Note de la **¡Error! No se encuentra el origen de la r** **eferencia.**, que la dirección de dato modbus se establece en 0 y no en 1, esto se debe a que entre el driver modbus de la RTU y el esclavo NJEX7300G, existe un offset de 1. Esto aplica para todos los bloques a configurar.

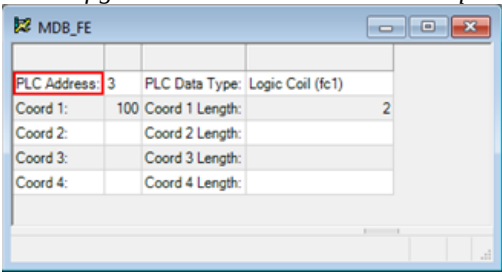
Figura 37. Tabla simple para bloque 1



	Name	Value	PLCdi
0	00001		
1	00002		
2	00003		
3	00004		
4	00005		
5	00006		
6	00007		
7	00008		
8	00009		
9	00010		
10	00011		

Table 1 Col 0 Row 0

Figura 40. Configuración de trama de lectura bloque 2



PLC Address:	3	PLC Data Type:	Logic Coil (fc1)
Coord 1:	100	Coord 1 Length:	2
Coord 2:		Coord 2 Length:	
Coord 3:		Coord 3 Length:	
Coord 4:		Coord 4 Length:	

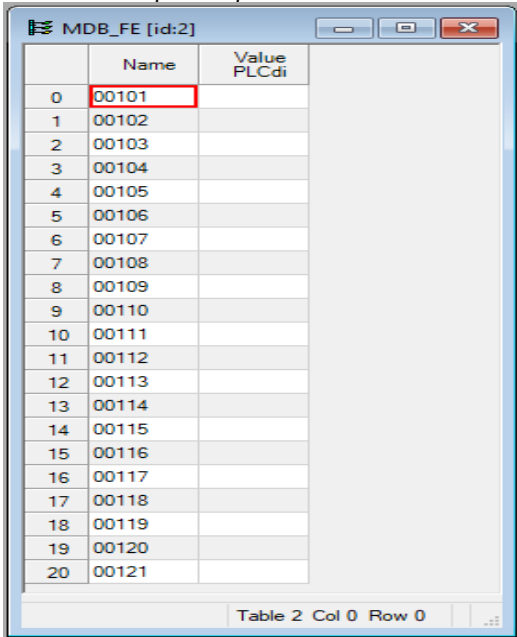
Figura 38. Bloque 2 [12]

Address	Access	Description
00101	Read Only	System Stopped (0) / Running (1)
00102	Read Only	Verometer Not-Filling (0) / Filling (1)
00103	Read Only	Not in Standby (0) / Standby (1)
00104	Read Only	Memory Module Invalid (0) / Valid (1)
00105	Read Only	Z-65 Backup Disabled (0) / Enabled (1)
00106	Read Only	English (0) / Metric (1)
00107	Read Only	Proportional to Time (0) / Proportional to Flow (1)
00108	Read Only	Analog (0) / Pulse (1)
00109	Read Only	Linear (0) / Non-Linear (1) or Pulses/Sec (0) / Pulses/Min (1)<Gas PPMV(1)<LPG
00110	Read Only	Gas (0) / Liquid (1)
00111	Read Only (L)	No Power-Up (0) / Power-Up (1) since last coil read
00112	Read Only	Odorant Tank Low Alarm Enabled (0) / Disabled (1)
00113	Read Only	Signal Alarms Enabled (0) / Disabled (1)
00114	Read Only	Verometer Alarms Enabled (0) / Disabled (1)
00115	Read Only	Pump Alarms Enabled (0) / Disabled (1)
00116	Read Only	Battery Alarm Enabled (0) / Disabled (1)
00117	Read Only (L)	No Parm Change (0) / Parm Change (1) since last coil read
00118	Read Only	Normal (0) / No Flow Standby (1)
00119	Read Only	Normal (0) / Remote Inhibit (1)
00120	Read Only (L)	New HOU/FLOW Data Available
00121	Read Only	No Load Cycle (0) / Load Cycle Active (1) – Liquid System Only

Figura 41. Bloque 3 [12]

Address	Access	Description
01001	Read Only	Global Alarm (1) (set if any alarm condition exists)
01002	Read Only	Pump Failure Alarm (1)
01003	Read Only	Over Pump Alarm (1)
01004	Read Only	Under Pump Alarm (1)
01005	Read Only	Verometer Cable Alarm (1)
01006	Read Only	Verometer Slow Fill Alarm (1)
01007	Read Only	Verometer No Fill Alarm (1)
01008	Read Only	Verometer Over Fill non-Alarm (1)
01009	Read Only	Verometer Leakage Alarm (1)
01010	Read Only	Verometer Fill Valve Alarm (1)
01011	Read Only	Verometer Fill Rate non-Alarm (1)
01012	Read Only	Signal Low Flow non-Alarm (1)
01013	Read Only	Signal No Flow non-Alarm (1)
01014	Read Only	Signal Overflow non-Alarm (1)
01015	Read Only	Signal Overflow Alarm (1)
01016	Read Only	Signal Loss of Signal Flow Alarm (1)
01017	Read Only	Low Battery Alarm (1)
01018	Read Only	External Tank level High Alarm (1)
01019	Read Only	External Tank level Low Alarm (1)
01020	Read Only	Expansion Tank Pressure High Alarm (1)
01021	Read Only	Expansion Tank Pressure Low Alarm (1)
01022	Read Only	Expansion Tank Pressure Cable Alarm (1)
01023	Read Only	Odorant Inlet Pressure High Alarm (1)
01024	Read Only	Odorant Inlet Pressure Low Alarm (1)
01025	Read Only	Odorant Inlet Pressure Cable Alarm (1)

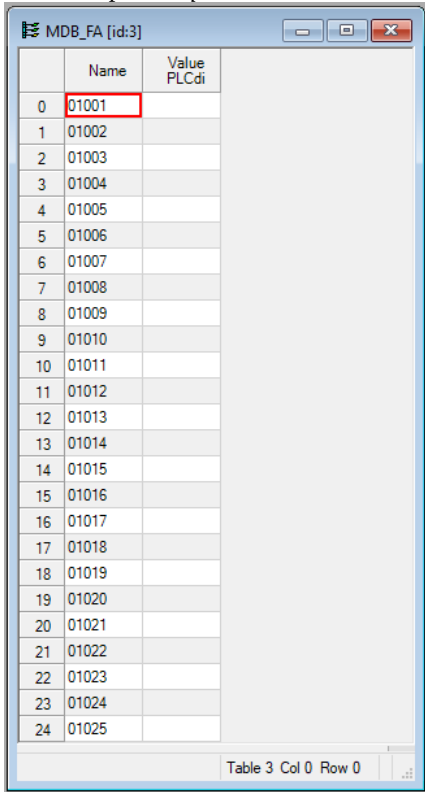
Figura 39. Tabla simple bloque 2



	Name	Value	PLCdi
0	00101		
1	00102		
2	00103		
3	00104		
4	00105		
5	00106		
6	00107		
7	00108		
8	00109		
9	00110		
10	00111		
11	00112		
12	00113		
13	00114		
14	00115		
15	00116		
16	00117		
17	00118		
18	00119		
19	00120		
20	00121		

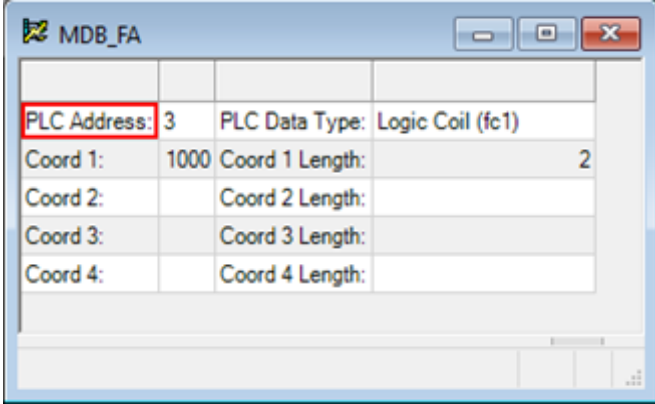
Table 2 Col 0 Row 0

Figura 42. Tabla simple bloque 3



	Name	Value PLCdi
0	01001	
1	01002	
2	01003	
3	01004	
4	01005	
5	01006	
6	01007	
7	01008	
8	01009	
9	01010	
10	01011	
11	01012	
12	01013	
13	01014	
14	01015	
15	01016	
16	01017	
17	01018	
18	01019	
19	01020	
20	01021	
21	01022	
22	01023	
23	01024	
24	01025	

Figura 43. Configuración de trama de lectura bloque 3

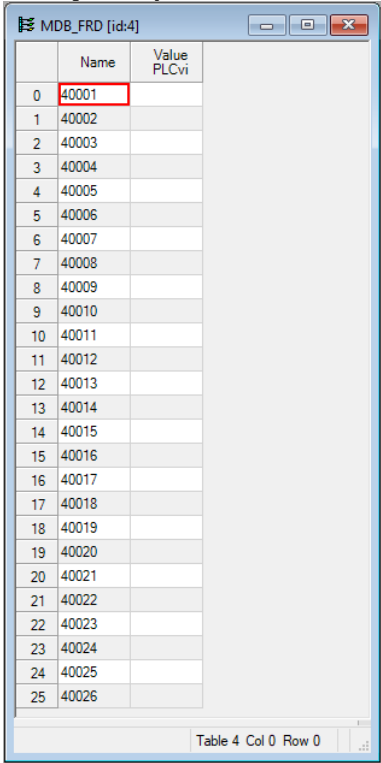


PLC Address:	3	PLC Data Type:	Logic Coil (fc1)
Coord 1:	1000	Coord 1 Length:	2
Coord 2:		Coord 2 Length:	
Coord 3:		Coord 3 Length:	
Coord 4:		Coord 4 Length:	

Figura 44. Bloque 4 [12]

Address	Access	Description
40001	Read Only	HOU/LOU - Accum. Odorant Usage - High - Unsigned integer *See formatting info.
40002	Read Only	HOU/LOU - Accum. Odorant Usage - Low - Unsigned integer *See formatting info.
40003	Read Only	HOU/LOU - Accumulated Flow rate - High - Unsigned integer *See formatting info.
40004	Read Only	HOU/LOU - Accumulated Flow rate - Low - Unsigned integer *See formatting info.
40005	Read Only	HOU/LOU Start Date (Day of Month/Month) (1-31/1-12) - BCD
40006	Read Only	HOU/LOU Start Date (Century/Year) (0000-9999) - BCD
40007	Read Only	HOU/LOU Start Time (Seconds/Minutes) (00-59/00-59) - BCD
40008	Read Only	HOU/LOU Start Time (Hours/Day of Week) (00-23/0-7) - BCD
40009	Read Only	HOU/LOU End Date (Day of Month/Month) (1-31/1-12) - BCD
40010	Read Only	HOU/LOU End Date (Century/Year) (0000-9999) - BCD
40011	Read Only	HOU/LOU End Time (Seconds/Minutes) (00-59/00-59) - BCD
40012	Read Only	HOU/LOU End Time (Hours/Day of Week) (00-23/0-7) - BCD
40013	Read Only	Stroke Count High (0000-9999) - BCD
40014	Read Only	Stroke Count Low (0000-9999) - BCD
40015	Read Only	Total Odorant Injected High (0000-9999) - BCD *See formatting info.
40016	Read Only	Total Odorant Injected Low (0000-9999) - BCD *See formatting info.
40017	Read Only	Model Number - Unsigned Integer *See formatting info.
40018	Read Only	Serial Number (xxxxx) - Unsigned Integer
40019	Read Only	Verometer Calibration Data - Unsigned Integer *See formatting info.
40020	Read Only	Odorant Tank Level (xxx %) - Unsigned Integer
40021	Read Only	Expansion Tank Pressure (xxx.x psi / x.xxx bar) - Unsigned Integer
40022	Read Only	Odorant Inlet Pressure (xxx.x psi / x.xxx bar) - Unsigned Integer
40023	Read Only	Calculated Time per Stroke High - Unsigned Integer - sec.
40024	Read Only	Calculated Time per Stroke Low - Unsigned Integer - (x.xx sec.)
40025	Read Only	Verometer Level (xxx.x %) - Unsigned Integer
40026	Read Only	Battery Voltage (xxx volts) - Unsigned Integer

Figura 45. Tabla simple bloque 4



	Name	Value PLCvi
0	40001	
1	40002	
2	40003	
3	40004	
4	40005	
5	40006	
6	40007	
7	40008	
8	40009	
9	40010	
10	40011	
11	40012	
12	40013	
13	40014	
14	40015	
15	40016	
16	40017	
17	40018	
18	40019	
19	40020	
20	40021	
21	40022	
22	40023	
23	40024	
24	40025	
25	40026	

Figura 46. Configuración de trama de lectura bloque 4

Figura 47. Bloque 5 [12]

Address	Access	Description
40101	Read Only	Current Date (Day of Month / Month) (01-31 / 01-12) – BCD
40102	Read Only	Current Date (Century / Year) (0000-9999) – BCD
40103	Read Only	Current Time (Seconds / Minutes) (00-59 / 00-59) – BCD
40104	Read Only	Current Time (Hours / Day of Week) (00-23/01-07) – BCD
40105	Read/Write	Injection Rate – Unsigned Integer *See formatting info.
40106	Read/Write	Pump Displacement (cc/Stroke) – Unsigned Integer *See formatting info.
40107	Read/Write	Odorant Density – Unsigned Integer XXX (GE/LE = lbs/gal, GMLM = g/cc)
40108	Read/Write	Proportional to Time Stroke Rate XXX (minutes) – Unsigned Integer
40109	Read/Write	Maximum Gas Flow – Unsigned Integer *See formatting info.
40110	Read/Write	Low Flow Shutoff (xx.x of Max Gas Flow) – Unsigned Integer
40111	Read/Write	Flow No Signal (xx.x of Max Gas Flow) – Unsigned Integer
40112	Read/Write	Maximum time per stroke (xxx minutes/stroke) – Unsigned Integer
40113	Read/Write	Odorant Output (lbs/pulse) – Unsigned Integer *See formatting info.
40114	Read/Write	Pulses per Second (xx Pulses/Seconds) – Unsigned Integer
40115	Read/Write	Pulses per Minute / Pulses per Gallon (xx Pulses/Minute - Gas, xx Pulses/Gal- Liquid PPMV) – Unsigned Integer

Figura 48. Bloque 5 extendido [12]

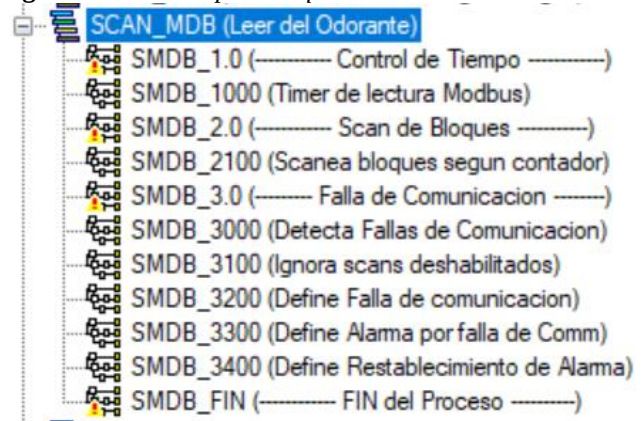
Parameter functions, Continued		
40116	Read/Write	Odorant Tank Level High (xx %) – Unsigned Integer
40117	Read/Write	Odorant Tank Level Low (xx %) – Unsigned Integer
40118	Read/Write	Expansion Tank Pressure High (xx.x psi / x.xxx bar) – Unsigned Integer
40119	Read/Write	Expansion Tank Pressure Low (xx.x psi / x.xxx bar) – Unsigned Integer
40120	Read/Write	Odorant Inlet Pressure High (xx.x psi / x.xxx bar) – Unsigned Integer
40121	Read/Write	Odorant Inlet Pressure Low (xx.x psi / x.xxx bar) – Unsigned Integer

Figura 49. Tabla simple bloque 5

	Name	Value PLCvi
0	40101	
1	40102	
2	40103	
3	40104	
4	40105	
5	40106	
6	40107	
7	40108	
8	40109	
9	40110	
10	40111	
11	40112	
12	40113	
13	40114	
14	40115	
15	40116	
16	40117	
17	40118	
18	40119	
19	40120	
20	40121	

Figura 50. Configuración trama de lectura bloque 5

Para finalizar el objetivo de realizar la lectura del mapeo modbus del equipo de odorización, se debe indicar la periodicidad en la que se enviarán las tramas de encuesta a esclavo. Para tal fin se diseñó e implementó un proceso llamado SCAN_MDB.

Figura 51. Proceso para adquisición de datos modbus

Teniendo en cuenta que se deben realizar 5 tramas de solicitud, el proceso de encuesta modbus (SCAN_MDB), realizará una secuencia de polling para cada bloque de datos. Para mayor detalle sobre las rutinas Ladder implementadas, consulte el anexo B (pág. 43 a la 46). Para conocer el diagrama de flujo del proceso consulte el anexo A (pág. 5).

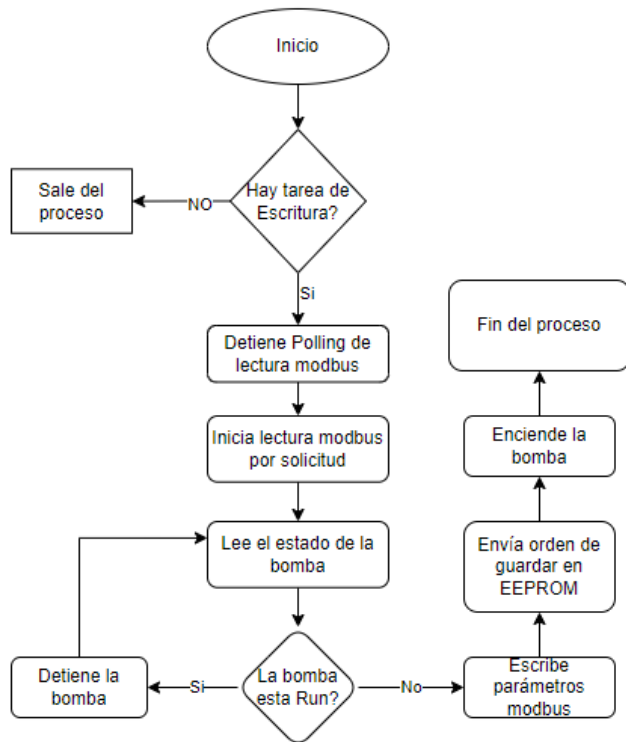
Como segundo paso se deben establecer las estrategias de escritura modbus. Esta parte es el eje principal de la aplicación debido a que a través de estas estrategias se le informará al equipo de inyección, sobre el flujo de gas que se debe tener en cuenta para el cálculo de porción de inyección o Stroke. Estas rutinas se realizan en un proceso llamado Admin_Write, para conocer el detalle de las rutinas Ladder, consulte el anexo B (pág. 93 a 100).

La escritura modbus dentro del proceso no se limita a la escritura de flujo de gas, es posible, también, reescribir los parámetros de operación del equipo NJEX7300G, encender y apagar la bomba de inyección entre otros, para más detalle remítase al anexo A (pág. 6,7 y 8).

Para el proceso de escritura de cualquier parámetro dentro del equipo es importante seguir el procedimiento indicado por el fabricante del equipo de inyección. A continuación, se

presenta un diagrama de flujo que explica el procedimiento de escritura de parámetros

Figura 52. Diagrama del proceso de escritura modbus



VII. ESTABLECIMIENTO DE LA COMUNICACIÓN.

Los datos recolectados por la RTU de la flora deben ser enviados al centro de control para su monitoreo, adicionalmente desde el centro de control se tendrá la necesidad de actualizar, mensualmente, la tabla 7X24 de flujos promedios y otras acciones de control remoto. Por ello el canal debe contar con las especificaciones necesarias para que la comunicación entre la RTU y el FEP, fluyan sin dificultades.

GDO, ha especificado en su requerimiento de automatización, que la comunicación deberá ser, por la tecnología modem celular, esto debido a que el centro de control ya cuenta con esta tecnología y se requiere un medio que permita la actualización de los datos en tiempo real.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, para el establecimiento del medio de comunicación, solo resta determinar el ancho de banda requerido para el canal.

A. Ancho de banda requerido.

Para determinar el ancho de banda del canal es necesario determinar el peso de los datos a transmitir.

En la operación del sistema los datos a transportar son:

- Tabla de flujos 24X7.

- Bloques de lectura modbus (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).
- Comandos de control.

Los bloques de lectura modbus están compuestos por 57 datos de tipo bit y 47 datos de tipo entero para un total de:

$$Total\ bits = 47 + (57datos * 2\ byte * 8bits) = 959\ bits$$

Los datos correspondientes a los comandos no superan los 10 enteros es decir 160 bits.

Los datos de la tabla 24X7, son datos de tipo flotante de 4byte cada uno por lo que su total de bis seria.

$$Tbits = 24horas * 7dias * 4byte * 8\ bits = 5376\ bits$$

En el peor de los casos se transmitirán todos los datos del sistema en un solo PTT por lo que esa trama tendrá un peso de:

$$Ttotal = 959 + 160 + 5376 = 6495\ bits.$$

Por lo anterior podemos concluir que el ancho de banda requerido para la operación del sistema es pequeño si se tiene en cuenta que a nivel de TCP/IP, ni siquiera será necesaria la segmentación de paquetes, toda vez que se entiende que un paquete puede contener un máximo de 1500 byte.

$$Total\ datos\ en\ byte = \frac{6495}{8} = 811,875 \approx 812\ bytes$$

1) Conclusión.

Debido a que el ancho de banda mínimo ofrecido por el proveedor de servicios móviles para GDO, en su APN privada es de 10 Mbps, se concluye que esta velocidad es más que suficiente para la operación.

B. Viabilidad técnica.

Luego de verificar el manual de operación del dispositivo Midge2. Se concluye que solo es necesario configurar el segmento de red LAN al que se conectará la RTU, configurar los datos del APN privado del operador celular y el equipo automáticamente hará el enrutamiento entre la WAN (red del operador celular y la LAN (red local). [5]

C. Configuración del modem midge2.

Para iniciar con la configuración del router celular se debe:

- Conectar la antena de comunicaciones.
- Instalar la simcard del operador.
- Energizar el dispositivo.
- Conectarse al webserver para realizar las configuraciones necesarias.

La antena que se utilizará será de fabricación nacional en concreto el modelo de marped AC-awdb8/19-5, que es una antena látigo de 5 dbi de ganancia.

Figura 53. Router celular Midge 2 [5]



1) Conexión de antena de comunicaciones.

Figura 54. Puertos de antena [5]



El equipo cuenta con dos entradas de tipo BNC hembra para la conexión de las antenas. De acuerdo con los cálculos de radiación realizados, es suficiente con conectar una antena en la entrada marcada como ANT. La entrada marcada como AUX, funcionaría para mejorar las comunicaciones con BTS, es decir funcionaría como una antena de diversidad.

Para la automatización de la flora solo fue necesario conectar una antena en la entrada principal (ANT).

2) Instalación simcard.

Figura 55. Ranuras para Simcard [5]



El dispositivo cuenta con 2 ranuras para micro simcard, en el equipo base estas dos ranuras trabajan en Hot-standby, lo que quiere decir que, si instala dos simcard de diferentes operadores para obtener redundancia de medio, solo tendrá acceso a las Sim2 cuando la Sim1 este fuera de línea, para tener una redundancia Hot-Hot, deberá solicitar esta característica, al

fabricante, cuando se compra el equipo y contar con por lo menos 2 antenas.

3) Energización del dispositivo.

Para la automatización de la flora solo se utilizará la ranura de la Sim1.

Figura 56. Alimentación DC del dispositivo [5]



La alimentación del dispositivo puede ser de 12 – 24 VDC con tolerancias antes de falla de 9,6 -28,8 VDC, con un consumo máximo de 1 A [5].

4) Configuración del dispositivo.

Figura 57. Conexiones RJ45 red LAN [5]



Para la configuración del dispositivo, este cuenta con 4 puertos RJ45, con comunicación TCP/IP, las cuales pueden ser utilizadas para comunicarse con un PC.

El dispositivo ofrece una configuración mediante servidor web. Para comunicarse con dicho servidor, se configura la tarjeta de red del PC en el mismo segmento de red del servidor.

Por defecto el segmento de red en el que se encuentra el router celular es 192.168.1.X/24, con Gateway: 192.168.1.1 por lo que se podría configurar una dirección estática en la tarjeta de red del PC desde 192.168.1.2 a 192.168.1.254. A continuación, se presenta un ejemplo de confirmación de IP estática (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Por lo general el equipo viene de fabrica con el servicio DHCP, activo por lo que se podría conectar a cualquiera de los

puertos ethernet del dispositivo y habilitar la opción de obtener una dirección ip automática en el wizard de su tarjeta de red (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). De esta forma el servidor DHCP, del router celular le asignara una dirección IP al PC, en el mismo segmento de red, facilitando la comunicación con el servidor WEB.

Figura 58. Configuración IP estática (TCP/IPV4)

Figura 59. Configuración cliente DHCP (TCO/IPV4)

Una vez establecida la red local. El siguiente paso es abrir un explorador web y en el espacio de URL escribir <http://192.168.1.1> y dar enter, esto iniciara el espacio de login del servidor web, donde se solicitará que asigne una contraseña para el usuario administrador de configuración.

Figura 60. Asignar contraseña de configuración [5]

Para la automatización de la estación la flora se establecerá una contraseña la cual no será divulgada en este documento por

cuestiones de seguridad. Debido a que el APN que se debe configurar es un APN privado no se debe marcar la opción de auto configuración, solo marcar la opción de aceptar términos y condiciones.

A continuación, se tendrá acceso a la configuración del dispositivo y como es de esperarse, no se tendrá acceso a la red WAN del operador.

Figura 61. Red WAN antes de configuración APN

HOME INTERFACES ROUTING FIREWALL VPN SERVICES SYSTEM LOGOUT		
Status	Summary	
Summary	Description	Administrative Status
WWAN		
Ethernet		
LAN		
Bridges		
DHCP		
DNS		
System		

Sin embargo, se puede ver que se tiene un muy buen nivel de señal.

Figura 62. Nivel de señal al 90%

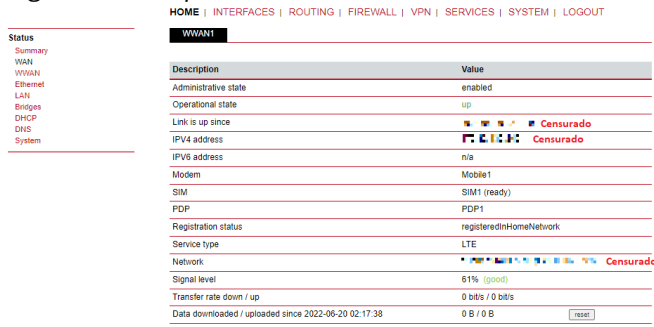
HOME INTERFACES ROUTING FIREWALL VPN SERVICES SYSTEM LOGOUT		
Status	Mobile1	
Summary	Description	Value
WWAN	Status	registeredInHomeNetwork
Ethernet	Modem	Mobile1
LAN	SIM	SIM1
Bridges	Network	#CoberturaCLARO
DHCP	Cell	0615CDFE
DNS	Band	WCDMA Band 5 850MHz
System	Service type	UMTS
	Signal RSSI	-61 dBm
	Signal RSCP	-62 dBm
	Signal ECIO	-12 dB
	Signal level	90 % (excellent)

Para configurar el APN privado se debe seguir la ruta: Interfaces/Mobile/interfaces/connection, y estando ahí, seleccionar la opción specify y llenar el formulario de acuerdo con los parámetros proporcionados por el operador celular para el acceso a la red privada.

Figura 63. Configuración APN privado

Nota: por motivos de seguridad no se presentarán los parámetros suministrados por el operador celular.

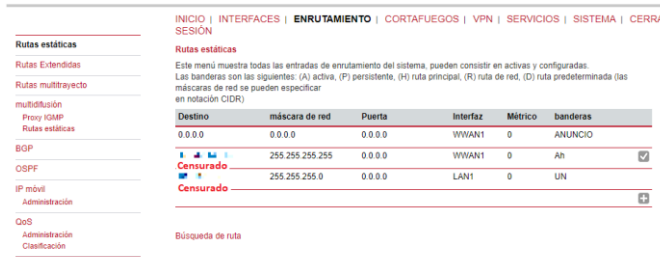
Figura 64. APN funcional



Una vez introducidos los parámetros d la APN, el equipo nos presentara la dirección IP estática de la red WAN que nos ha asignado el operador celular, así como el nombre de acceso de red.

Automáticamente el equipo realizara un enrutamiento entre la LAN del equipo y la WAN recientemente configurada. Para ver dicho enrutamiento dirigirse al menú “ENRRUTAMIENTO”

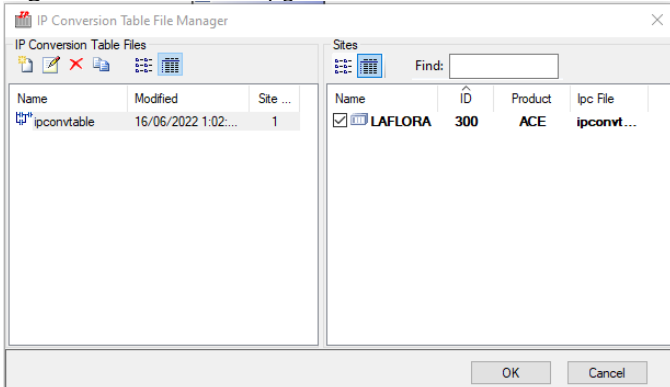
Figura 65. Enrutamiento WAN-LAN



Realizadas estas configuraciones solo resta indicarle a la RTU y al FEP las direcciones WAN de cada una, esto se hace a través del archivo IP Conversion Table, que puede ser editado a través del software STS.

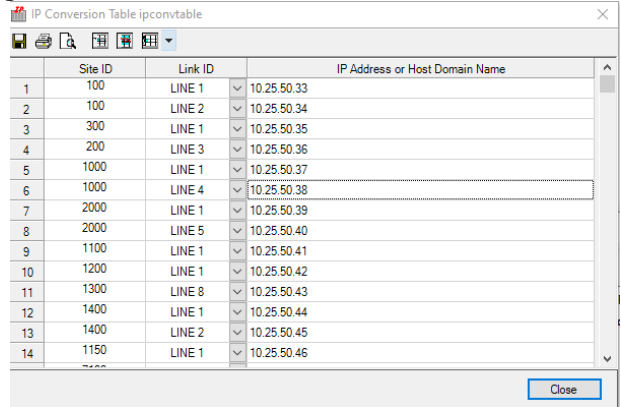
Para editar el archivo se deberá abrir el software STS y seguir la siguiente ruta: System/ IP Conversion Table Manager..., y abrirá el asistente de configuración.

Figura 66. Asistente configuración IP Conversion Table



Es necesario dar doble clic al archivo para editarlo. Este archivo relaciona: el ID del sitio la línea de comunicación y la IP del sitio. Para la estación la Flora el ID de sitio es 300 y el ID del FEP es 100.

Figura 67. Archivo IP Conversion Table



Nota: por motivos de seguridad los ID de sitios y las direcciones IP de las redes WAN han sido cambiadas en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Realizadas las configuraciones anteriormente expuestas se logra establecer comunicación entre el FEP y la RTU de la flora.

VIII. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MONITOREO Y CONTROL.

Con el fin de lograr el monitoreo de las señales de operación del equipo de odorización de la estación la flora, se estableció una pantalla en el sistema SCADA actual de GDO, para presentar a los operadores las variables más relevantes del sistema de odorización de la estación. Adicionalmente se desarrollaron pantallas emergentes o popups, que permiten el envío de comandos tales como paso a Automático o manual, cambio parcial o total de tabla de flujos, solicitud de datos de emergencia entre otros.

Revisando la documentación del sistema SCADA de GDO se encontró que las pantallas deben cumplir con las recomendaciones de la ISA101 para el diseño de pantallas HMI, por lo que los colores, tamaños de letras y fuentes de animación deberán seguir dichas recomendaciones, adicionalmente en la galaxia del sistema se deberá construir un objeto que represente al equipo NJEX3600 y la estación como tal, debe ser representada por un Área.

Teniendo claras las condiciones de implementación se procederá con la mismas. A continuación, se presentan los pasos de implementación necesarios.

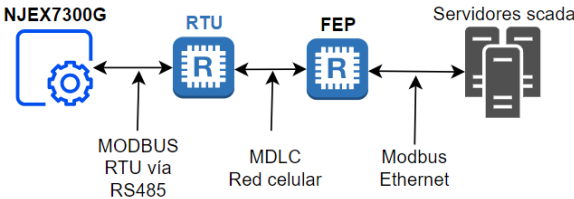
1. Adicionar las señales del sistema de odorización al Driver de adquisición de datos DASERVER. Del sistema SCADA actual en centro de control GDO.
2. Diseñar y adicionar los objetos de visualización de la estación.
3. Diseñar y adicionar los scripts de control necesarios.

- 4. Diseñar las pantallas de monitoreo y control de acuerdo con el estándar grafico de GDO.

A. Configuración del sistema para la adquisición de Datos de la estación la flora.

Teniendo en cuenta que el FEP ya estableció comunicación con la estación la flora, mediante los ruoters celulares midge2. Y que el mismo ya fue configurado como Gateway de comunicaciones. Estará disponible un mapeo modbus para todas las señales del odorizador la flora en el centro de control.

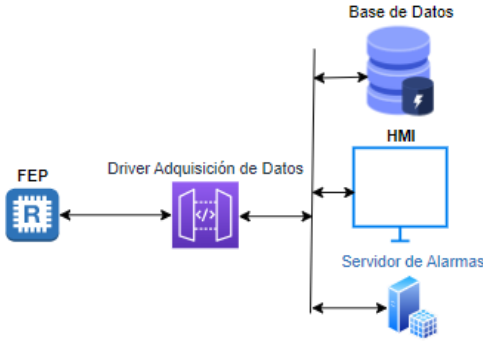
Figura 68. Flujo de datos entre la flora y centro de control



El sistema SCADA de GDO está conformado por varios equipos o servidores del sistema, todos estos se encuentran coordinados por un servidor en específico conocido como GR NODE. Este servidor es el encargado de realizar la coordinación de las interacciones entre los servidores. Por ejemplo, el que coordina las comunicaciones entre el servidor de adquisición de datos DAServer y El servidor que aloja los objetos de visualización AOS01.

Ahora bien, para integrar la estación la flora al sistema SCADA, se debe adquirir las señales de la estación mediante el driver de comunicaciones para modbus, este driver se comportará como un Gateway de comunicaciones adquiriendo las señales por protocolo modbus TCP y dejándolas disponibles para el GR_NODE en protocolo suitelink, que es el protocolo propietario de Aveva System platform. Desde este punto, los datos de la estación estarán disponibles para el servidor de gráficos o HMI, la base de datos o historian y el servidor de alarmas.

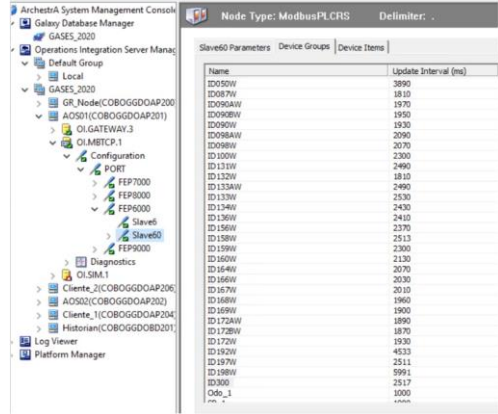
Figura 69. Adquisición y procesamiento de datos



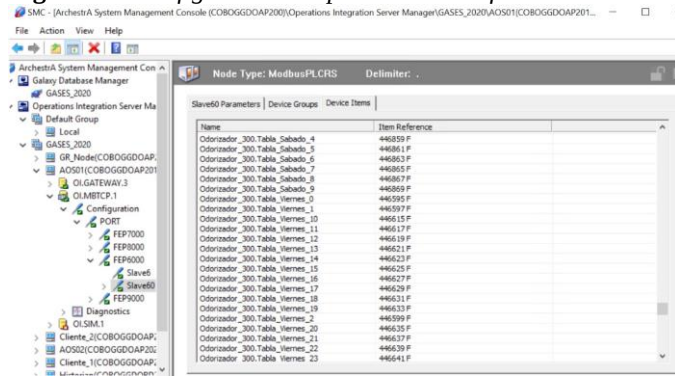
1) Configuración Driver Modbus.

Dentro del servidor del DAServer, se encuentra un driver para la adquisición de datos mediante Modbus TCP, conocido como OI. MBTCP.1, este controlador, ya tiene configurado el FEP que recibe los datos de la estación la Flora (FEP6000), por lo que solo se deberá configurar Device group que contenga todas las señales provenientes de la flora. A continuación, se presenta una imagen con la configuración del controlador.

Figura 70. Configuración driver de comunicaciones



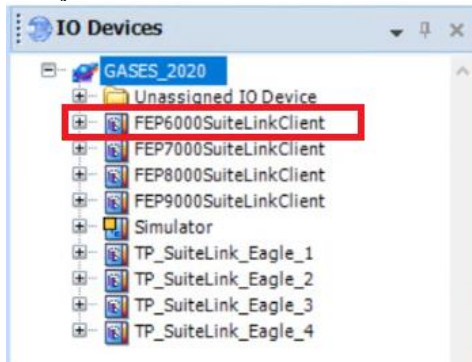
Tenga en cuenta que dentro del controlador se representa al dispositivo FEP, pero este equipo tiene la capacidad de contener hasta 3 esclavos modbus. En específico el FEP6000, contiene dos esclavos (6 y 60). Los datos de la estación la flora, están condensados en el esclavo: 60, device group: ID300, finalmente dentro de ese device group se configuran las señales de la estación o Device items.

Figura 71. Configuración mapeo modbus la flora

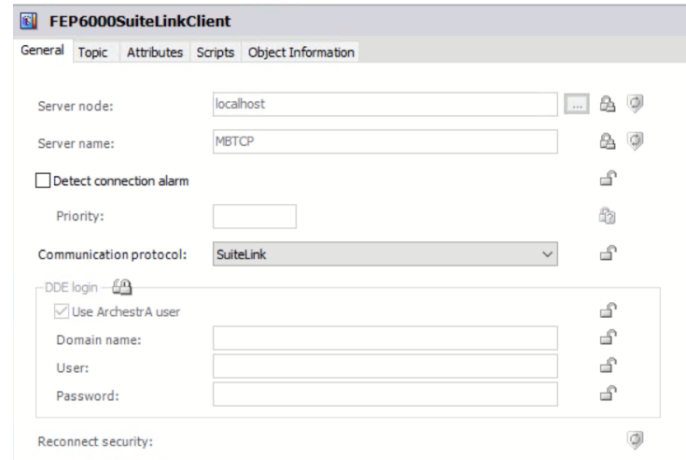
En este punto el sistema ya tiene acceso a los datos de la estación la flora, pero no se ha establecido las conexiones entre el servidor de gráficos, el servidor de historial y el servidor de alarmas. Este tipo de conexiones se realizan a través de un objeto de sistema conocido como objeto suitelink.

2) Configuración del objeto suitelink.

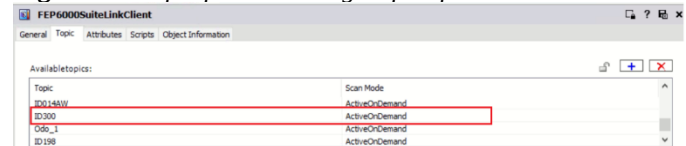
Para la interacción del servidor de objetos y gráficos AOS01 y el FEP6000, ya existe un objeto suitelink, llamado FEP6000SuiteLinkClient.

Figura 72. Objeto Suitelink a utilizar .

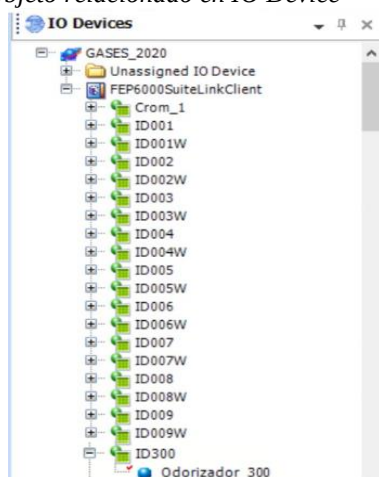
El objeto suitelink se relaciona con el controlador de comunicaciones. Para establecer dicha relación, solo se debe configurar el nombre del controlador en la casilla “Server name” de la sección general del objeto suitelink, adicionalmente si el controlador y el objeto suitelink corren en nodos distintos, es decir: equipos de cómputo distintos. En la casilla “Server node”, se debe escribir el nombre de maquina o dirección IP de dicho nodo, por otra parte, si el objeto suitelink se encuentra en el mismo equipo donde está instalado el controlador. La casilla “Server node”, debe quedar por defecto, es decir: Localhost.

Figura 73. Relación entre objeto suitelink y driver OI.MBTCP.1.

Validada la conexión entre el Objeto suitelink y el driver OI.MBTCP.1. El paso siguiente será crear el Topic del objeto, que no, es más, que el nombre del device group, que se debe consultar. De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, recuerde que el Device group configurado para la estación la flora es: ID300, por ende, este es el nombre que se usara para crear en el Topic.

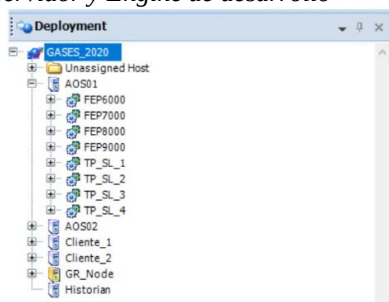
Figura 74. Topic para Device group la flora.

Para terminar la relación entre el controlador de comunicaciones y el servidor de gráficos, se debe arrastrar el objeto creado, al Topic del objeto suitelink, haciendo uso de la herramienta IO Device. En cuanto a la relación entre el controlador y los servidores de historial y alarmas, esta relación se establece dentro de cada atributo del objeto odorizador, como se verá más adelante. A continuación, se presenta una imagen donde se evidencia la inclusión del objeto odorizador al ID300, culminando de esa forma el procedimiento de adquisición de datos.

Figura 75. Objeto relacionado en IO Device

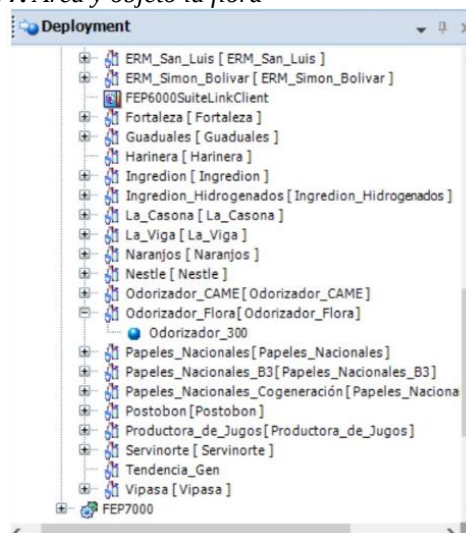
B. Creación del Objeto Odorizador.

Se debe tener en cuenta que la integración de la estación se está realizando sobre un sistema SCADA ya establecido, por lo que la implementación se debe adaptar a la arquitectura existente. En el sistema SCADA el servidor de gráficos y objetos, ya existe y se llama AOS01, dentro de este servidor corren desarrollos gráficos, cuya fuente datos es el FEP6000, por ende, existe también el Engine (FEP6000).

Figura 76. Servidor y Engine de desarrollo

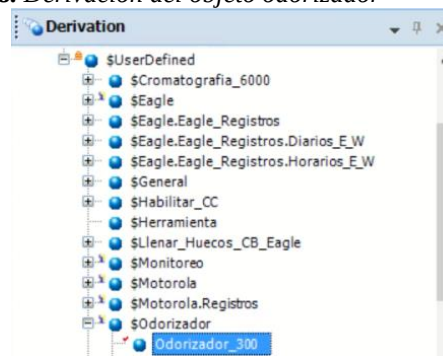
Dentro del engine FEP6000, existen Áreas que representan a las estaciones del sistema, y dentro de esas áreas están contenidos los objetos que representan a la instrumentación del sitio, por ejemplo: en una estación de corrección de gas, existe un objeto que representa a un transmisor de presión, a una válvula, un sensor de nivel, etc. Si llegase a existir más de un instrumento de presión, simplemente se duplicará el elemento, se le cambiara el nombre y se redireccionaran las señales, pero no habrá necesidad de crear un nuevo objeto que represente al instrumento.

Siguiendo con la filosofía del sistema SCADA actual, dentro del engine FEP6000, se creó un área llamada: "Odorizador_Flora", que representa a la estación dentro del sistema. Dentro del área se creó un objeto llamado: Odorizador_300, que representa al equipo de inyección NJEX7300G.

Figura 77. Área y objeto la flora

El objeto Odorizador_300 fue creado de la siguiente forma:

A partir del objeto base \$UserDefined, se creó una plantilla llamada: \$Odorizador, sobre esta plantilla se adicionaron todos los atributos del NJEX7300G. y posteriormente se generó una instancia llamada Odorizador_300, que representa finalmente, al odorizador de la estación la flora. A continuación, se muestra la vista Derivation de la galaxia donde se evidencia la procedencia del objeto.

Figura 78. Derivación del objeto odorizador

Un objeto en la galaxia se compone básicamente de atributos, scripts y gráficos de representación, en la creación del objeto plantilla \$Odorizador, se crearon los atributos y los scripts necesarios para modelar al NJEX7300G. A continuación, se presentarán las evidencias en la creación de la plantilla.

1) Creación de atributos.

Para cada dato del odorizador se generará un atributo, cada atributo tendrá características especiales, por ejemplo: si es seleccionable como alarma, si es seleccionable como variable a historiar, si es variable proveniente de driver o es una variable de cálculo intermedia o final.

Teniendo en cuenta que para el objeto se crearon más de 7000 atributos, se realizará la explicación de un atributo de cada grupo funcional. Los grupos de datos funcionales son:

- Atributos de I/O
- Atributos de Historian
- Atributos de Alarma
- Atributos lógicos.

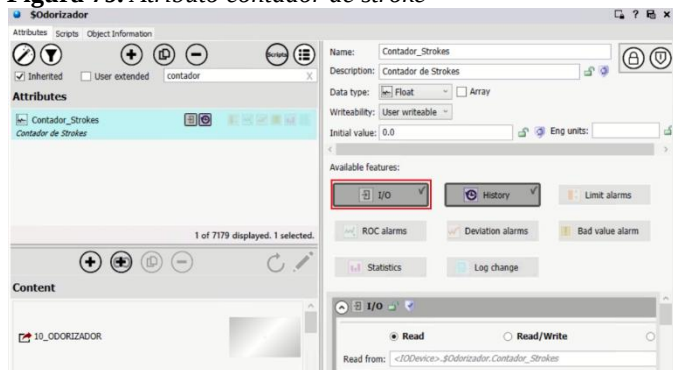
a) Atributos I/O.

Los atributos I/O, son aquellas variables que representan a un tag de la estación la flora, de estos atributos se crearon 211, tenga en cuenta que un atributo I/O, podría ser parte de otro grupo funcional como Alarmas o históricos, pero nunca del grupo lógicos.

Como ejemplo tomaremos la creación del atributo contador_stroke, este atributo además de pertenecer al grupo de I/O, pertenece también al grupo de Historian.

Para la creación de un atributo del grupo I/O, basta con entrar a la plantilla \$Odorizador, situarse en el submenú: atributos y dar clic en agregar. Estando ahí deberá definir el nombre, una descripción opcional, el tipo de dato del atributo y marcar el botón I/O. A continuación, se presenta la imagen que evidencia la creación del atributo Contador de Stroke.

Figura 79. Atributo contador de stroke



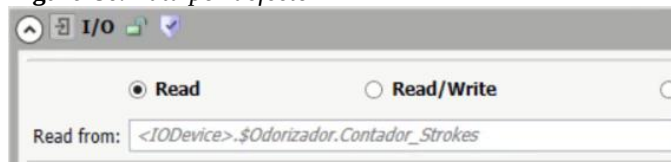
Este atributo está relacionado con la variable del equipo de inyección de odorante: 40013 y 40014 (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), de forma que este atributo al ser de I/O contendrá el valor del contador de stroke del equipo NJEX7300G.

Al remitirse a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, usted habrá notado que las variables 40013 y 40014, son de tipo entero, mientras que el atributo relacionado (contador_strokes), es de tipo flotante. También habrá notada que las variables 40013 y 40014 están marcadas como BCD, esto significa Binary Coded Decimal o decimal codificado en binario. Es decir que es una forma de representar a un valor flotante mediante números enteros codificados en binario, la RTU, entiende esta codificación por lo que ya nos entrega el valor en flotante.

Adicionalmente, note que al habilitar el botón I/O resaltado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se habilita un campo donde usted podrá definir si el valor será de lectura y escritura o si será de solo lectura. También podrá definir la ruta que debe seguir el atributo para obtener el valor del controlador de comunicaciones. Como se verá más adelante, esta ruta se establece automáticamente cuando se arrastra el objeto dentro del Topic del objeto suitelink.

Debido a que \$Odorizador es una plantilla de equipo que no representa a ningún equipo en específico, la ruta no se define ni este objeto es arrastrado dentro de ningún Topic.

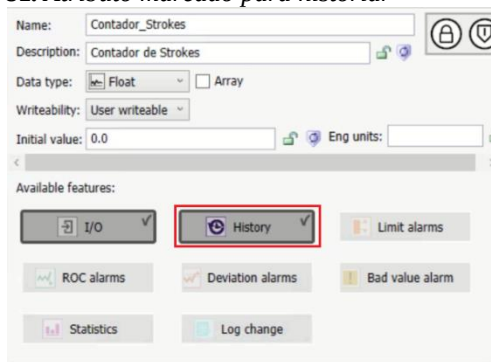
Figura 80. Ruta por defecto



b) Atributos de historian.

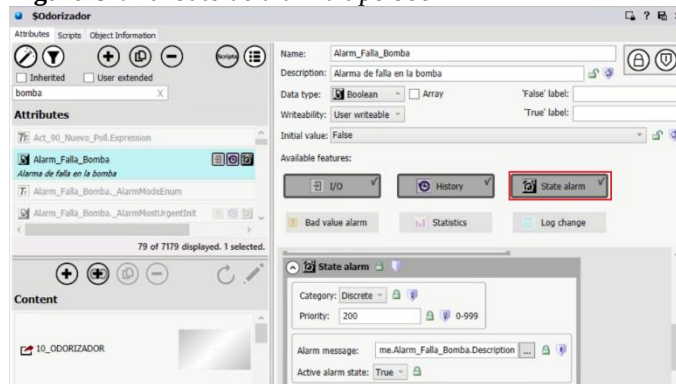
Los atributos de historian son variables, a las cuales se les desea hacer un seguimiento de su comportamiento a través del tiempo, por lo que se genera un guardado de datos relacionados con una estampa de tiempo, para que un atributo sea detectado como variable de interés para el servidor de historian, basta con habilitar el botón history.

Figura 81. Atributo marcado para historiar



c) Atributo de alarma.

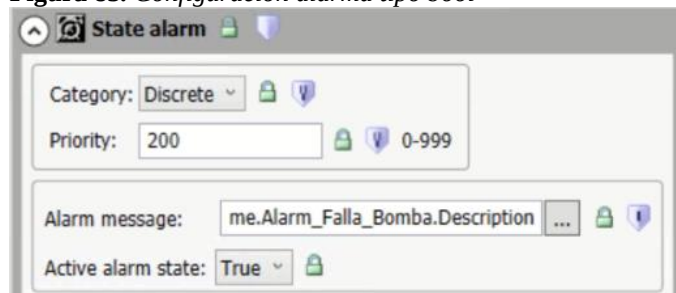
Los atributos de alarma son atributos a los que se le desea utilizar como señal de alarma, para marcar el atributo, como señal de interés para el servidor de alarmas, basta con marcar el botón state Alarm, si el atributo es de tipo bool o el botón Limit Alarms si es de tipo entero o flotante.

Figura 82. Atributo de alarma tipo bool

Para un atributo de tipo bool se debe establecer:

- Cuál de sus dos estados se considera una alarma (1 = true o 0 = false), por medio del parámetro “Active alarm state”.
- La prioridad de la alarma, que para el sistema de GDO se tienen 4 prioridades (muy baja= 0-249; baja = 250 – 499; alta = 500-749 y muy alta = 750 a 999). La prioridad de la alarma determinará su posición en el banner cuando se encuentre activa. Este parámetro debe configurarse en el parámetro Priority.
- Por último, en el parámetro “Alarm message”, se debe indicar que mensaje se quiere presentar en el banner de alarmas cuando el estado se cumpla, en este campo se puede escribir un texto o establecer una variable de tipo string.

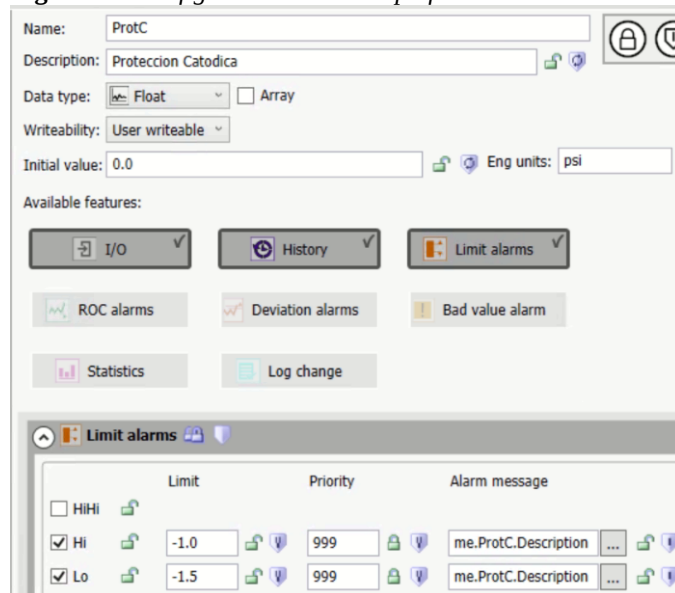
A continuación, se presenta la configuración del atributo Alarm_Falla_Bomba, que además de ser una alarma es un atributo de I/O relacionado con la variable del odorizador 01002 (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y una variable de interés para el servidor de historial.

Figura 83. Configuración alarma tipo bool

Note que en el parámetro Alarm message, se estableció un parámetro del atributo como mensaje. La expresión me.Alarm_Falla_bomba.Description, indica: utilice el parámetro Description de el atributo Alarm_Falla_Bomba. De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, podemos ver que ese parámetro contiene la oración “Alarma de falla en la bomba”, por lo que ese es el mensaje que aparecerá en el banner de alarmas.

Para una variable tipo flotante:

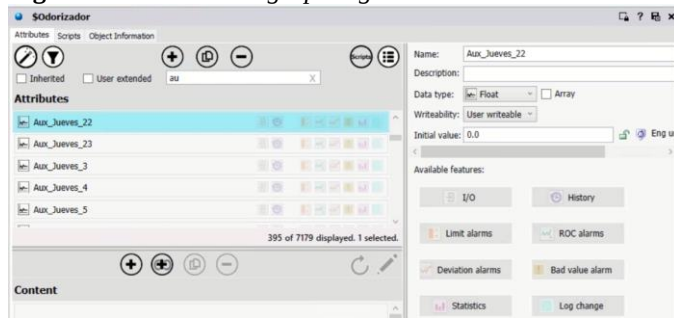
El procedimiento de configuración es parecido, con la diferencia de que se deben establecer los valores de HIHI (alto alto), LOLO (bajo bajo), LO (bajo) y HI (alto). Para cada parámetro se debe establecer la prioridad. Tenga en cuenta que un atributo puede tener todos o solo algún setting de alarma. Por ejemplo, el atributo ProtC, solo tiene settings de alarmas HI y LO. Por último, debe indicar para cada setting el mensaje que debe aparecer En el banner.

Figura 84. Configuración alarma tipo float .

d) Atributo lógico.

Los atributos lógicos, son atributos que no se marcan con I/O, debido a que son utilizados como variables calculadas, pueden ser marcados como de interés para el servidor de alarmas y/o el servidor de historial.

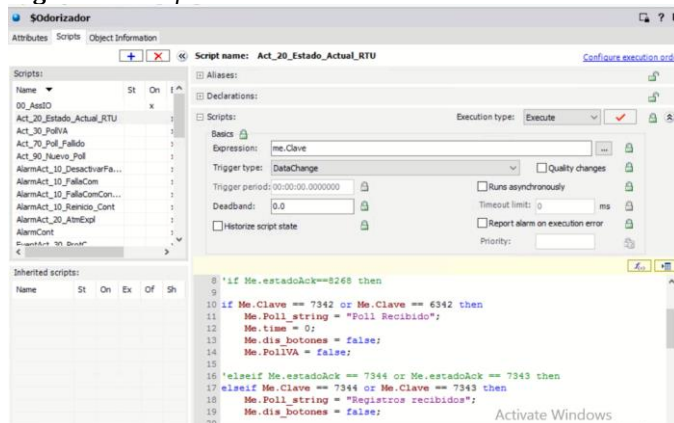
Por ejemplo, para cada fila de la tabla 7X24, se generó un atributo de escritura temporal que se utiliza para alojar el dato que el operador desea reemplazar en la tabla y solo se ejecuta cuando se confirma la orden de comando, de esa forma este atributo guardo el valor a reemplazar y por medio de un script se utiliza dicho valor para enviar como parte del comando. A continuación, se presenta el atributo lógico Aux_jueves_22, que guarda el valor de remplazo para las 22 horas del jueves dentro de la tabla 7X24,

Figura 85. Atributo del grupo lógico

2) Creación de scripts.

Dentro del objeto se pueden establecer rutinas de programación, para realizar distintas acciones dependiendo de un disparador.

Por ejemplo: se configuro un comando para el operador, que le permite solicitar datos actualizados de la estación la flora en cualquier momento. También puede solicitar parámetros de la tabla 7 X 24, en la RTU remota la flora. Pues bien, para el desarrollo grafico era importante informar al operador el resultado de la acción de control por medio de un label o mensaje emergente. Para eso se generó un script, que, dependiendo del estado de una variable en el FEP, le indica el estado de el comando al operador.

Figura 86. Script Clave .

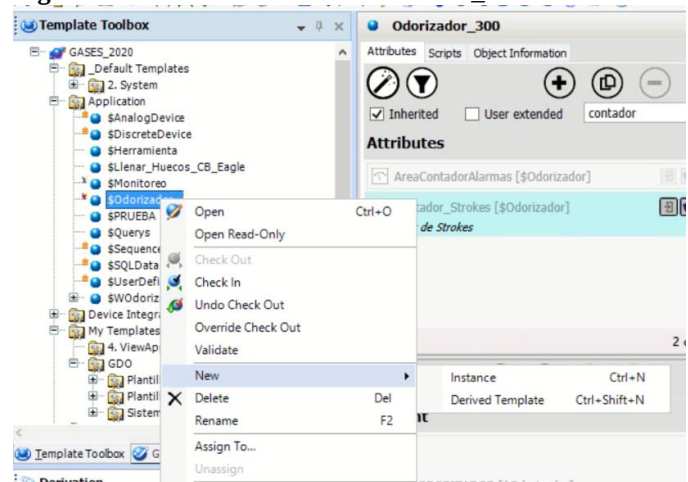
Note que el script, toma como disparador a un atributo del objeto, llamado Clave, de forma que cada vez que esta variable cambie, se ejecuta el script. Clave, es un atributo de I/O, que recibe valores o códigos numéricos con un significado, lo que hace el script es escribir el significado del código, para que el operador pueda entenderlo. Por ejemplo, cuando se emite una solicitud de datos, el FEP informa al controlador de comunicaciones sobre el estado de la solicitud mediante códigos numéricos, así el código 7342 indica que se ha recibido un grupo de datos desde la RTU remota, mientras que el código 7344 indica que la RTU ha aceptado cambios de registros en su tabla 7X24. El script aloja el mensaje de traducción de código en el atributo Poll_string, para posteriormente ser presentado al operador en el despliegue gráfico.

3) Representaciones graficas.

El objeto de odorización no tendrá una representación gráfica desde la instancia de objeto, debido a que por la filosofía del SCADA actual, las estaciones de odorización solo presentan una cuadrícula con los valores de operación.

4) Creación de instancia Odorizador_300.

Teniendo en cuenta que la plantilla \$Odorizador, cuenta con todos los atributos y scripts necesarios para representar cualquier equipo de odorización tal como el NJEX7300G. se procederá a generar la instancia para la representación del equipo de inyección de la estación la flora. Para eso daremos clic derecho sobre la plantilla, luego en new y finalmente en instance.

Figura 87. Creación instancia Odorizador_300

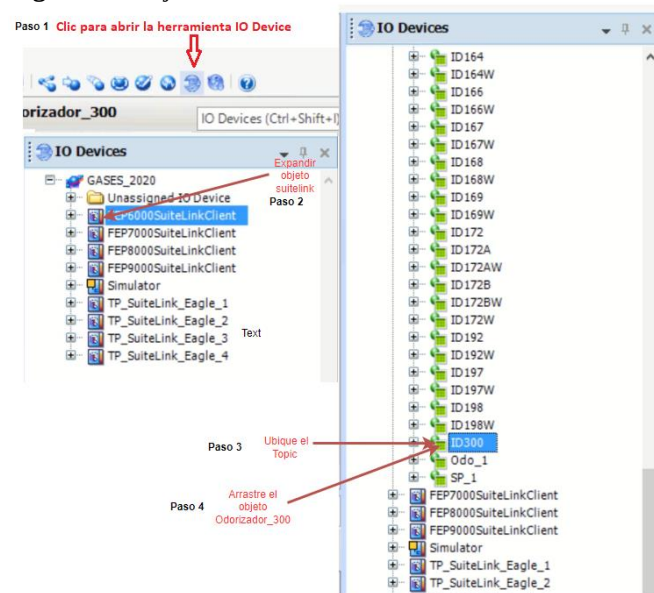
Asignamos el nombre a la instancia que para este caso es Odorizador_300 y arrastramos al área de la estación (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Finalmente se tiene el objeto que representa al equipo NJEX7300G, de la estación la flora.

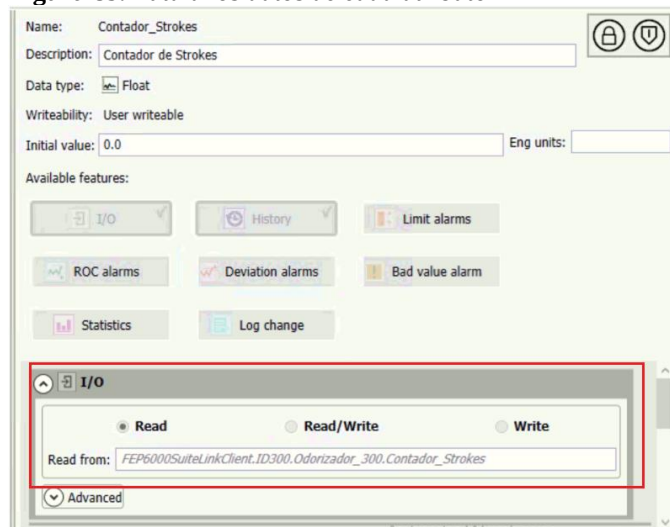
Para relacionar el objeto creado con el controlador de comunicaciones se deben seguir los siguientes pasos.

- Abrir la herramienta IO Device.
- Ubicar y expandir el objeto suitelink con conexión al FEP6000 (FEP6000SuiteLinkClient).
- Ubicar el Topic ID300.
- Arrastrar el objeto Odorizador_300 desde la vista deployment (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), hasta el Topic ID300.

Finalmente existirá una relación entre los datos del controlador de comunicaciones, el servidor de objetos y gráficos, el servidor de historian y el servidor de alarmas. A continuación, se presenta un gráfico que ilustra los pasos listados anteriormente.

Figura 88. Objeto odorizador dentro de IO Device.

Si abre el objeto Odorizador_300, verá que es una copia de la plantilla \$Odorizador, pero que, al estar relacionada con el controlador de comunicaciones y los demás servidores del sistema, se han creado las rutas de I/O automáticamente en los atributos. A continuación, se presenta el cambio del parámetro I/O del atributo contador_stroke, recuerde que en la figura **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentaba la ruta de este mismo parámetro, pero dentro de la plantilla \$Odorizador.

Figura 89. Ruta a los datos de cada atributo

Si vamos al controlador de comunicaciones encontraremos que:

- Tenemos un objeto FEP6000, con comunicación modbus briggge, donde indicamos la dirección IP del FEP y el puerto de comunicación modbus.
- Dentro del objeto FEP tendremos un Esclavo modbus configurado.

- Dentro del esclavo un Device Group denominado ID300.
- Y dentro del Device group, ID300 todos los tags correspondientes a la estación la flora.

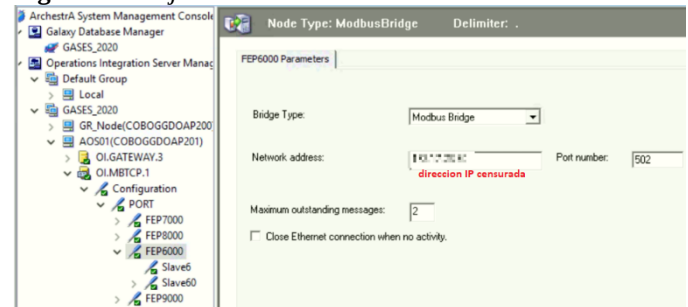
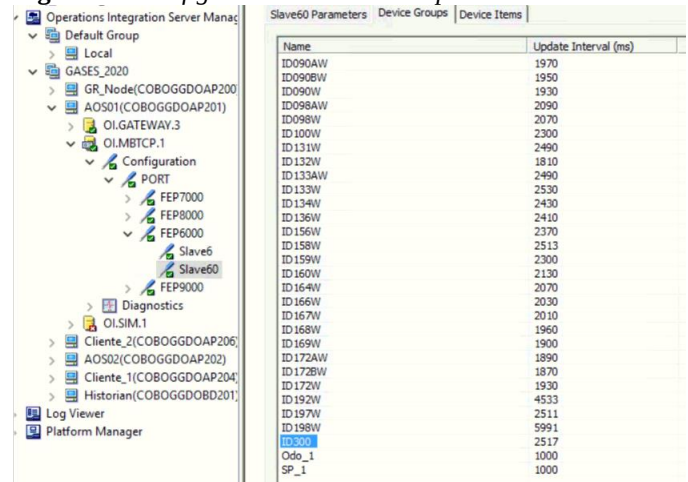
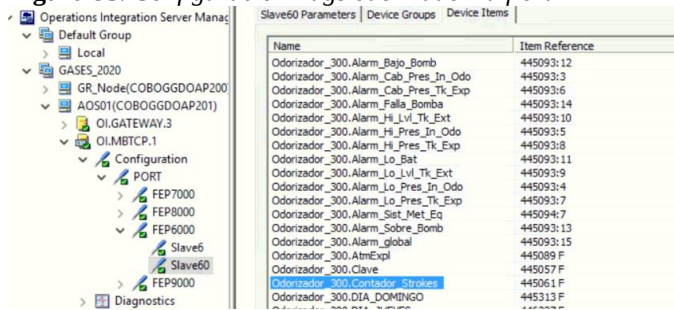
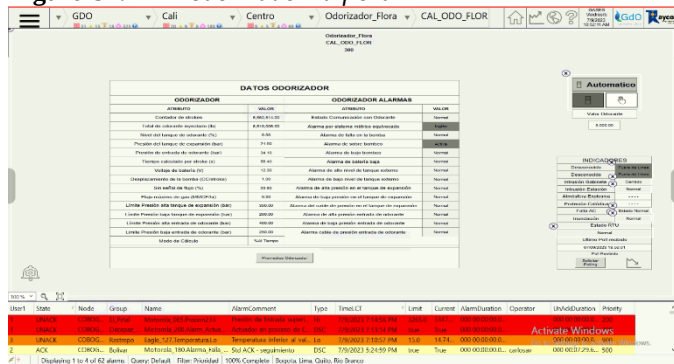
Figura 90. Objeto FEP6000 en el controlador**Figura 91.** Configuración esclavo 60**Figura 92.** Configuración Device Group ID300

Figura 93. Configuración Tags odorizador la flora

C. HMI del sistema.

Para la construcción del HMI o interface humano maquina se generó una pantalla de visualización, con los datos y alarmas más relevantes de la operación.

Figura 94. HMI odorizador la flora

1) Tabla Datos Odorizador.

La pantalla principal presenta los datos más relevantes de la operación mediante una tabla, denominada Datos de Odorizador.

Figura 95. Tabla de datos HMI

DATOS ODORIZADOR			
ODORIZADOR		ODORIZADOR ALARMAS	
ATRIBUTO	VALOR	ATRIBUTO	VALOR
Contador de stros	5.562.514.00	Estado Comunicación con Odorante	Normal
Total de odorante inyectado (lb)	6.510.008.00	Alarma por sistema métrico equivocado	Ingresa
Nivel del tanque de odorante (%)	0.00	Alarma de falla en la bomba	Normal
Presión del tanque de expansión (bar)	24.90	Alarma de sobre bombeo	Activa
Presión de entrada de odorante (bar)	34.10	Alarma de bajo bombeo	Normal
Tiempo calculado por stros (s)	55.40	Alarma de batería baja	Normal
Voltaje de batería (V)	12.30	Alarma de alto nivel de tanque externo	Normal
Desplazamiento de la bomba (CC/stroke)	1.00	Alarma de bajo nivel de tanque externo	Normal
Sin señal de flujo (%)	29.80	Alarma de alta presión en el tanque de expansión	Normal
Flujo máximo de gas (MMCF/hr)	0.30	Alarma de baja presión en el tanque de expansión	Normal
Límite Presión alta tanque de expansión (bar)	300.00	Alarma del cable de presión en el tanque de expansión	Normal
Límite Presión baja tanque de expansión (bar)	200.00	Alarma de alta presión entrada de odorante	Normal
Límite Presión alta entrada de odorante (bar)	400.00	Alarma de baja presión entrada de odorante	Normal
Límite Presión baja entrada de odorante (bar)	250.00	Alarma cable de presión entrada de odorante	Normal
Modo de Cálculo	%Al Flujo		

A la izquierda de la tabla se presentan los valores de operación flotantes mientras que ala derecha se presentan los valores de operación binarios.

En la parte inferior de la tabla se creó un botón (promedios Odorizador), que al ser presionado permite solicitar los valores

de la tabla que tiene el sitio remoto (RTU estación la flora), esto con el fin de validar que de forma local no se hayan realizado cambios no informados al centro de control.

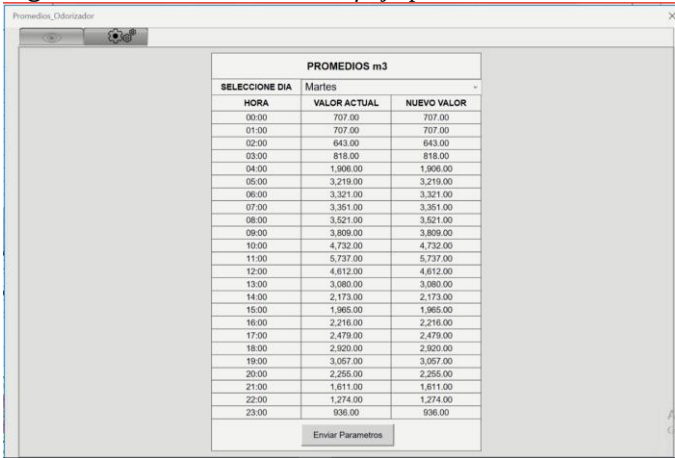
Figura 96. Popup promedios del odorizador

El popup, presenta la tabla 7 X 24 con los promedios del odorizador, en la parte inferior de cada día de la tabla hay un botón, que al presionarlo envía un comando hasta la estación la flora, solicitando los 24 valores del día seleccionado. Note que en la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el domingo no tiene valores promedios, esto se debe a que no se han solicitado los datos. Al presionar el botón de solicitud de polling del domingo obtenemos los valores, como lo muestra la siguiente imagen.

Figura 97. Popup Promedios del odorizador actualizados

De la Figura anterior note que en la parte superior hay un botón de configuración, este botón le permite al operador cambiar los valores promedios de operación de acuerdo con el día de la semana.

Figura 98. Comando cambio de flujo promedio



Para cambiar el flujo promedio de un día, el operador debe seleccionar el día de la semana que quiere editar. Acto seguido los valores de la columna Valor actual, se actualizarán de acuerdo con el día seleccionado, mientras que la columna: Nuevo valor, realizara una copia de la columna Valor Actual. Esta copia se hace para facilitar la labor del operador, debido a que en una operación normal son pocos los valores que cambian y de esa forma el operador solo editará el promedio de la hora que requiere y no tendrá que reescribir los 23 restantes.

Suponga que el operador desea cambiar el flujo promedio del miércoles a las 12 del mediodía. El operador seleccionará el miércoles y dará clic en la fila marcada con las 12:00, en ese momento aparecerá un cuadro para ingresar el nuevo valor.

Figura 99. Selección del día a editar

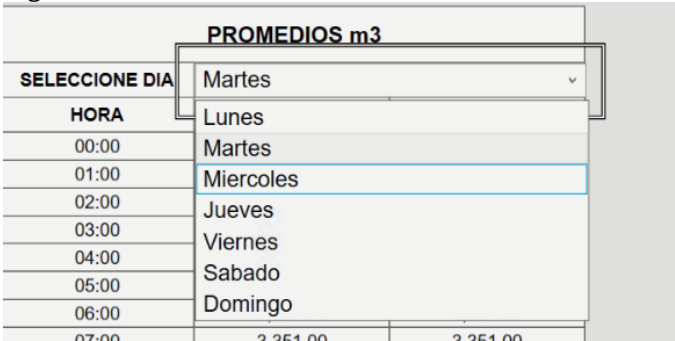
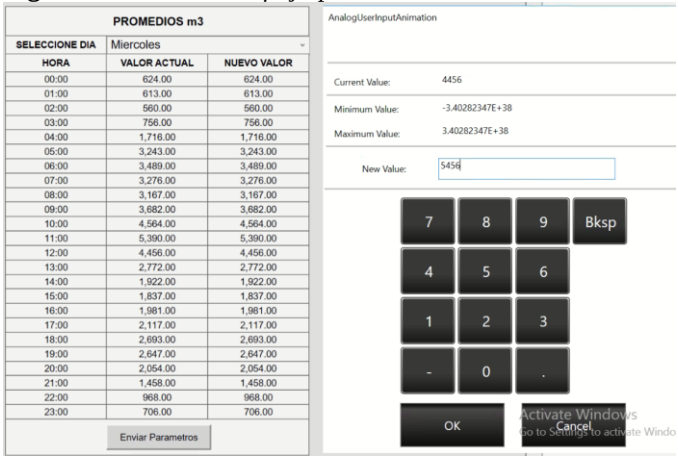
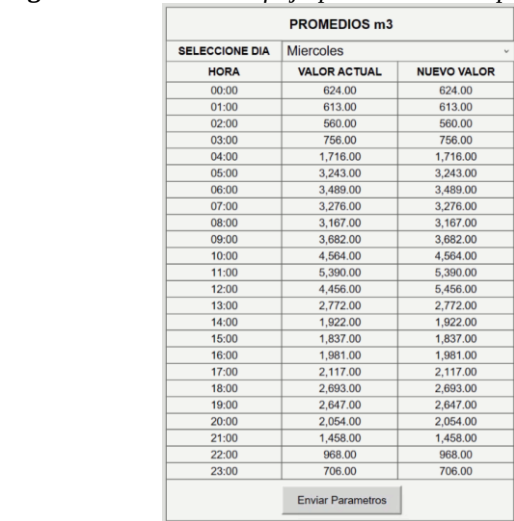


Figura 100. Cambio de flujo promedio



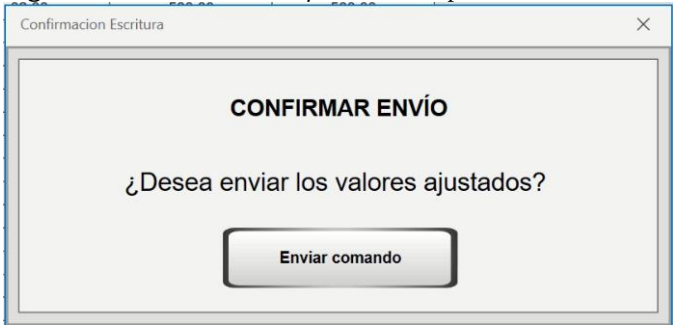
El operador quiere indicar que se ha comprobado que el flujo promedio de los miércoles a las 12 del mediodía, pasó de 4456 a 5456 metros cúbicos por hora, para eso digita el nuevo valor en la celda “New Value “y presiona ok.

Figura 101. Cambio de flujo promedio a la espera de envío



Note que, aunque el valor ya ha sido cargado en la columna “NUEVO VALOR”, la acción no tendrá lugar hasta que el operador de clic en el botón “Enviar parámetros”. Al dar clic en el botón aparecerá una ventana de confirmación de envío

Figura 102. Ventana de confirmación de parámetros



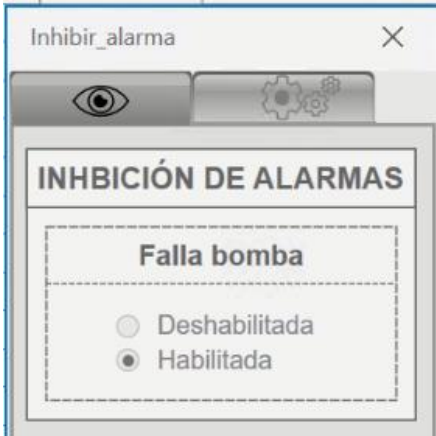
Si el operador confirma la acción, se enviará el nuevo dato a la flora para que los miércoles al medio día el promedio de flujo para el cálculo de la porción de inyección (stroke), sea 5456 metros cúbicos por hora.

2) Alarmas en la Pantalla.

En la columna “ODORIZADOR ALARMAS” de la tabla principal de la pantalla, se listan las alarmas del Odorizador, estas alarmas pueden ser inhibidas por el operador. Para ello el operador solo deberá situar el cursor del mouse sobre el valor de la alarma y dar clic.

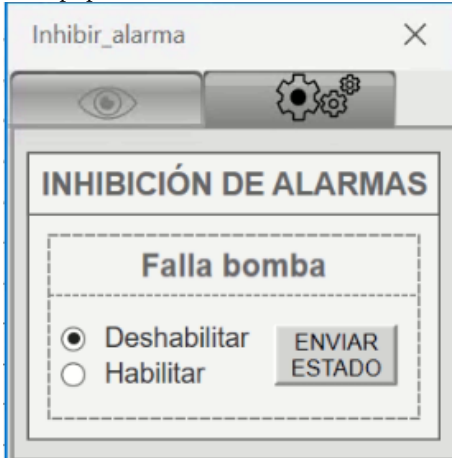
Imagine que el operador quiere inhibir la alarma de falla de bomba, porque esta informado de un mantenimiento programado para dicha bomba. El operador dará clic sobre el valor de la columna y emergerá un pequeño popup que le indica el estado de la alarma.

Figura 103. Popup Habilitar/deshabilitar Alarma



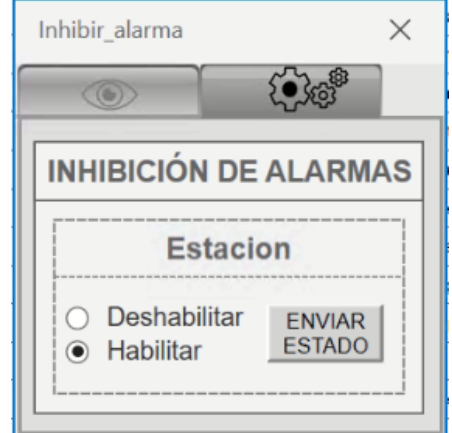
El operador encuentra que la alarma Falla bomba está habilitada, para deshabilitarla deberá hacer clic en el botón de configuración. Posteriormente activar el check box de Deshabilitación y enviar el comando a través del botón “Enviar estado”.

Figura 104. Popup Inhibición de alarma.



Si se requiere deshabilitar todas las alarmas del odorizador, no es necesario entrar a cada señal. En la parte inferior izquierda de la pantalla hay un botón de alarmas generales, al dar clic sobre él, emergerá un popup muy parecido al de inhibición de señales solo que este se refiere a las alarmas de toda la estación de odorización.

Figura 105. Popup Inhibición de alarma.



Por último, todas las pantallas del sistema tienen visualización del banner de alarmas general del SCADA, en este banner también se podrán visualizar las alarmas del odorizador junto con las demás alarmas del sistema.

Figura 106. Banner de alarma general

User1	State	Node	Group	Name	AlarmComment	Type	TimeAtCT	Unit	Current	AlarmDuration	Operator	UnitAtDuration	Priority
2	ACK	CORRO	Confabry	Exigle, 112 Alarma, Falla, Co...	Sid ACK - seguimiento	DISC	7/9/2021 8:35:00 PM	true	true	000:00:00:03	carhuay	000:00:00:45.1	100
2	ACK	CORRO	EMR LA	Motorside, 115 Alarma, Falla...	Sid ACK - seguimiento	DISC	7/9/2021 8:17:41 PM	true	true	000:00:00:03	carhuay	000:00:00:11.6	100
2	ACK	CORRO	10 Pump	Motorside, 262 Alarma, Falla...	Sid ACK - seguimiento	DISC	7/9/2021 7:42:15 PM	true	true	000:00:00:03	carhuay	000:00:00:18.6	100
1	ACK	CORRO	Demagat	Motorside, 200 Alarma, Actual...	Sid ACK - seguimiento	DISC	7/9/2021 7:40:39 PM	true	true	000:00:00:03	carhuay	000:00:00:24.4	100

3) Función Automático Manual.

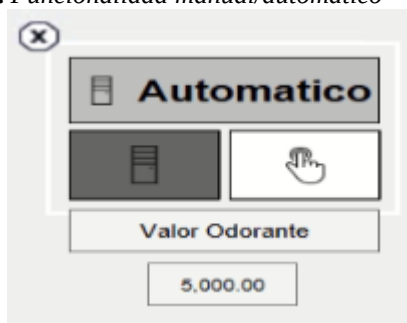
Otra de las funcionalidades de la pantalla es la selección del modo manual/automático de operación. En el modo automático se le indicará a la RTU de la flora que deberá calcular el porcentaje de Flow no signal cada hora, de acuerdo con la información consignada en la tabla 7 X 24. En el modo manual el operador establecerá un valor de flujo promedio estático, y la

RTU la flora tomara este valor para calcular el porcentaje de Flow no signal, de este modo el porcentaje no cambiará hasta tanto el operador no cambie el valor de flujo manual.

Esta funcionalidad no se debe confundir con la función Local/remoto. En la operación del sistema la flora el sistema siempre debe estar en remoto. Toda vez que se entiende que es una estación desatendida localmente.

Para cambiar el modo de operación. El operador tiene a su disposición un conjunto de botones e indicaciones en la parte superior derecha de la pantalla.

Figura 107. Funcionalidad manual/automático



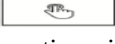
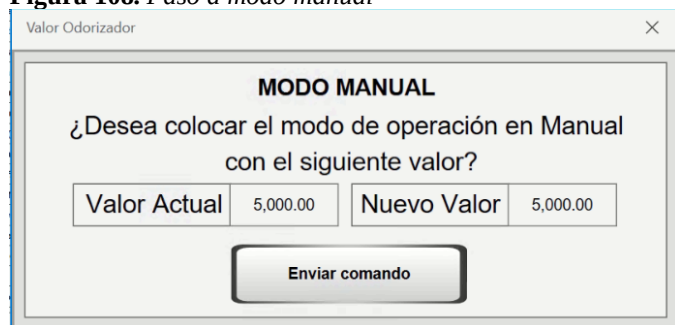
Note que la operación del sistema se encuentra en modo automático de acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para pasar a modo manual debe dar clic en el botón de modo manual , aparecerá una ventana como la que se muestra a continuación, donde el operador deberá definir el flujo promedio de cálculo y dar clic en el botón de envío de comando.

Figura 108. Paso a modo manual



4) Función de históricos.

otra funcionalidad del sistema de monitoreo es la capacidad de presentar las tendencias de cualquier variable marcada para el servidor de historian, esto les permite a los operadores conocer el comportamiento de las variables conforme transcurre el tiempo.

Para acceder a la funcionalidad, en la parte inferior derecha de la pantalla hay un botón de tendencias , al dar clic sobre el, aparecera un popup con el area de grafica de tendencias. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

El area de tendencias le permite, observar el comportamiento historico de las señales en cualquier periodo de tiempo. Para eso cuenta con herramientas de selección rapida, que le permite escoger el comportamiento de las señales en el ultimo minuto, ultimos 5,10,15 o 30 minutos, ultima hora, ultimas 24 horas entre otras selecciones rapidas. Pero tambien le permite definir

La fecha y hora de inicio y la fecha y hora de fin del monitoreo.

Figura 109. Tendencias del odorizador

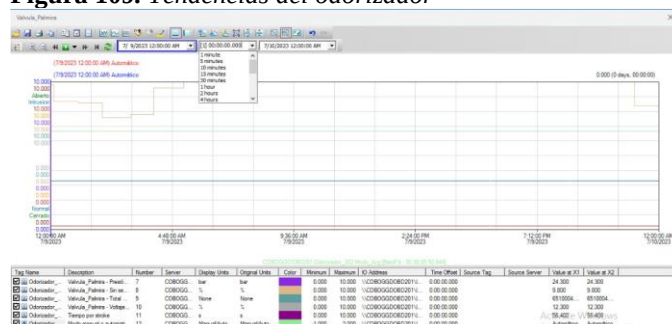
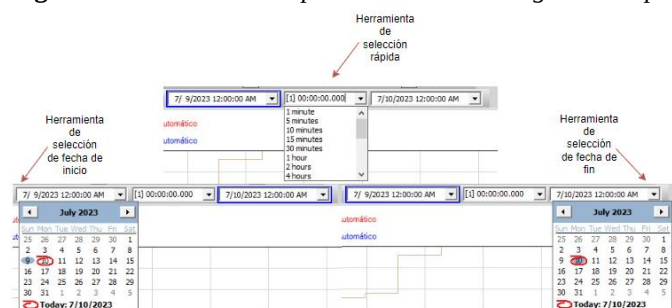
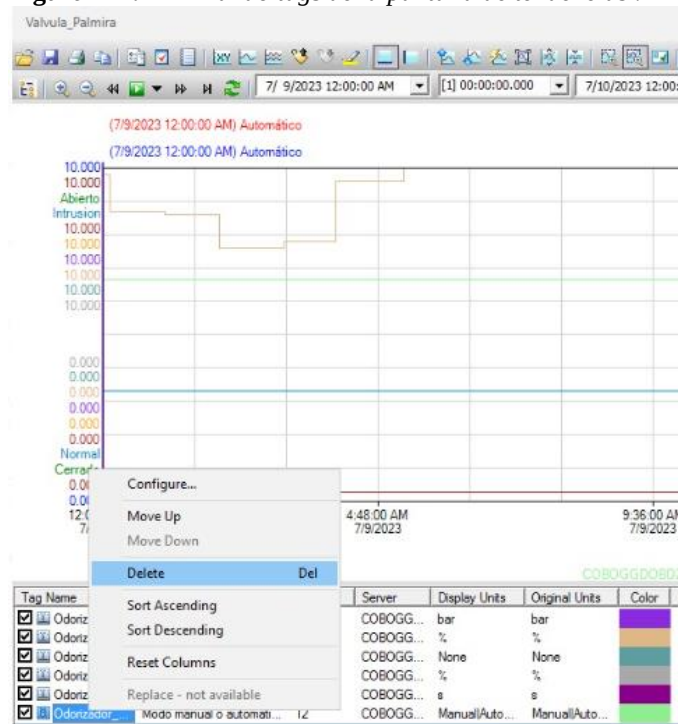


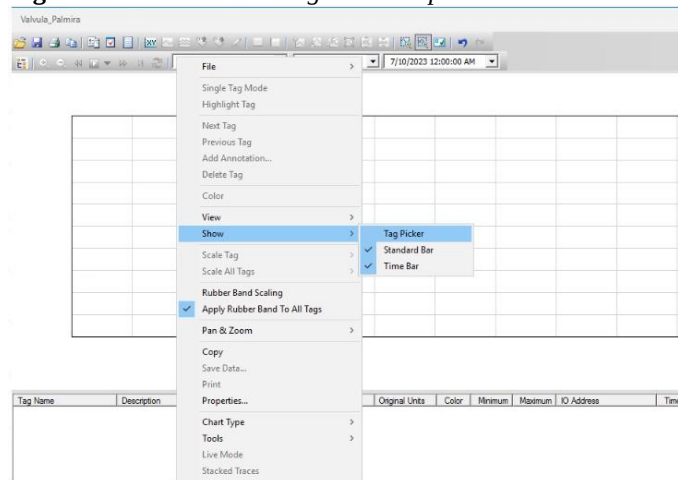
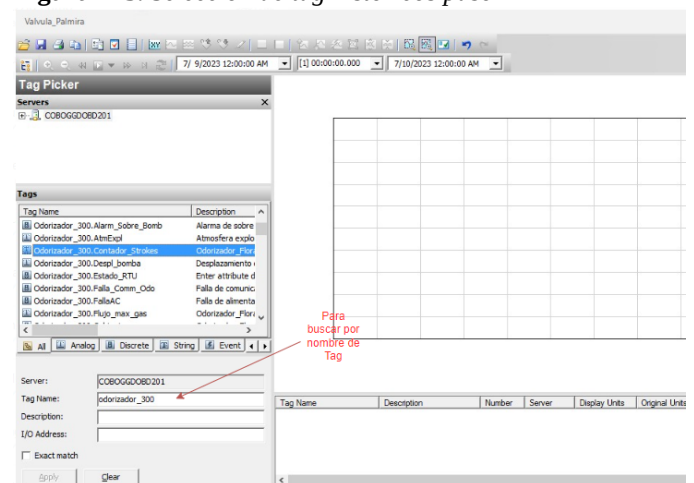
Figura 110. Herramientas para selección de rango de tiempo



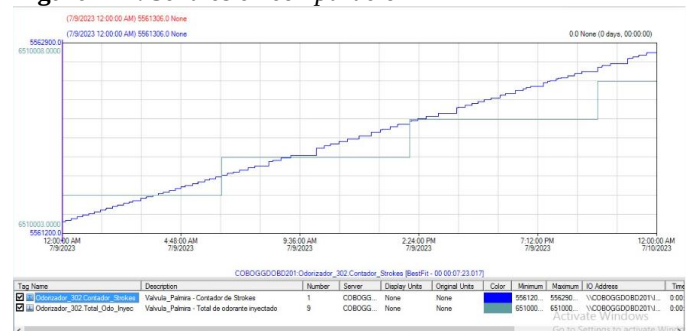
Por defecto, la pantalla de tendencias presentara todas las señales del odorizador, pero el usuario puede eliminar las que no desee ver., bastara con dar clic derecho sobre la variable que no es de interés ya a continuación clic en borrar.

Figura 111. Eliminando tags de la pantalla de tendencias .

De manera contraria si lo que, el operador desea es agregar una señal, puede dar clic derecho sobre el área de tendencia, seleccionar la opción show y luego Tag Picker. Aparecerá una ventana lateral donde podrá seleccionar cualquier variable tanto del odorizador como de cualquier otra estación del sistema SCADA.

Figura 112. Selección de tag histórico paso 1**Figura 113.** Selección de tag históricos paso 2

A continuación, se presenta una imagen de un día completo, de dos señales que el operador desea comparar, para verificar que la cantidad de stroke realizados corresponde con la cantidad de odorante inyectado.

Figura 114. Señales en comparación

Esta funcionalidad es importante, incluso para determinar cambios en la operación, debido a que por medio de ella se podría comparar el consumo de una estación de odorización, configurada mediante el modo proporcional al tiempo versus una estación como la flora, configurada mediante el método proporcional al flujo.

IX. PRUEBAS DE CONFIABILIDAD Y PUESTA EN OPERACIÓN.

Para validar la confiabilidad de la automatización desarrollada, la estación la flora fue monitoreada con prioridad, por los operadores durante más de 3 meses. En esta validación se tenía una tendencia esperada del consumo del odorante de acuerdo con los flujos promedios establecidos en la tabla 7 X 24. A continuación se presenta una gráfica con el consumo de odorante esperado. Los datos de la tabla son teóricos y calculados de acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y los gramos del odorante que se inyectan en el tiempo de stroke.

Figura 115. Datos esperados de consumo de odorante



A continuación, se presenta una gráfica del versus entre los datos teóricos y los datos reales arrojados por el monitoreo de la estación.

Figura 116. Consumo teórico vs el real



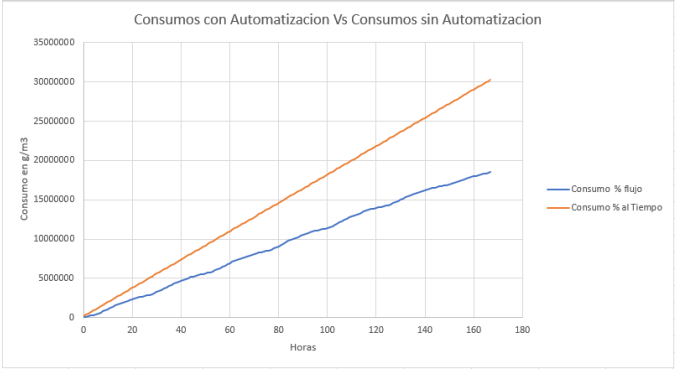
Si nota la gráfica anterior, no se perciben diferencias entre los datos teóricos y los datos reales de la operación, pero si los hubo. El informe de los operadores indica que hay una desviación entre el 0 y el 0,32%, en todo caso el valor consumido real es superior al teórico.

Las diferencias entre el valor teórico y el real se consideran, de acuerdo con el informe del operador, despreciables, debido a que pueden ser causadas por imprecisiones en los instrumentos de medición, temperaturas de operación, diferencias en número de decimales en el cálculo teórico, entre otras.

Se realizaron informes de operación semanales durante 3 meses, para un total de 12 informes, donde las desviaciones nunca superaron el 0.33%, valores de desviaciones menores a el 1%, son catalogadas como exitosas, lo que proporciona el aval para catalogar el desarrollo como en operación.

A continuación, se presenta un gráfico que evidencia la reducción en el consumo de odorante de la estación.

Figura 117. Consumo % flujo Vs Consumo % Tiempo



Luego de la automatización del proceso de inyección de odorante, donde se configuro el equipo de inyección con el modo proporcional al flujo, se logra un ahorro del 37,18%, del químico.

Las pruebas de cromatografía, realizados por GDO, confirman que la reducción del consumo es eficiente, debido a que el gas odorizado cumple con las recomendaciones del fabricante y las leyes vigentes en el país, presentando concentraciones de odorizante entre 12 y 18 gramos por metro cubico de gas.

X. CONCLUSIONES

Luego del desarrollo del proyecto y las pruebas de confiabilidad de este, podemos concluir que los objetivos del proyecto se cumplen, teniendo en cuenta que:

El método de automatización implementado funciona adecuadamente y sigue el patrón teórico bajo el cual fue diseñado con una desviación menor al 1%.

No fue necesario instalar instrumentación en la estación, para el cálculo de flujo de gas en sitio.

Se evidencia una disminución en el consumo de odorizador, lo que genera ahorro en la operación de la estación.

Con la reducción en el consumo del químico odorizador, se reduce la frecuencia de recarga, lo que disminuye la carga operativa de la estación y el riesgo inherente a esa actividad.

APÉNDICE

Ítem	Anexo	Archivo magnético
1	Anexo A	Diagramas Control Odorante La Flora.pdf
2	Anexo B	APP_laflora_Ladder.pdf

REFERENCIAS

- [1] T. l. d. s. reservados, «<https://becolve.com/>,» becolve, 15 10 2019. [En línea]. Available: <https://becolve.com/blog/que-es-una-rtu/>. [Último acceso: 19 03 2023].
- [2] Todos los derechos reservados, «Ownner's Manual ACE3600 RTU 6802979C35-E,» Motorola, U.S., 2010.
- [3] Motorola Solution, inc, «System Planner ACE3600 6802979C45-F,» Motorola, U.S., 2011.
- [4] Todos los derechos reservados, «Third Party Protocols Support,» Motorola , U.S., 2016.
- [5] Todos los derechos reservados, «M!DGE2 User Manual,» RACOM, Nové Město na Moravě, 2023.
- [6] y. fernandez, «xataka.com,» 15 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/basics/apn-nombre-punto-acceso-que-sirve-como-configurarlo>.
- [7] D. Chacon, O. Dijort y J. Castrillo, «<https://www.copadata.com/>,» Enero 2001. [En línea]. Available: <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-es-SCADA/>. [Último acceso: 20 06 2023].
- [8] GLS Industrias, «www.industriasgl.com,» 26 agosto 2021. [En línea]. Available: <https://industriasgl.com/blogs/automatizacion/protocolos-de-comunicacion-industrial#:~:text=Un%20protocolo%20de%20comunicaci%C3%B3n%20industrial,a%20trav%C3%A9s%20de%20diversas%20variables..> [Último acceso: 24 06 2023].
- [9] MODBUS ORG, «www.modbus.org,» diciembre 2006. [En línea]. Available: www.modbus.org/specs.php. [Último acceso: 24 06 2023].
- [10] MODBUS ORG, «www.modbus.org,» 11 2006. [En línea]. Available: www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf. [Último acceso: 24 6 2023].
- [11] Todos los derechos reservados, «<https://s3.amazonaws.com>,» 7 2001. [En línea]. Available: <https://s3.amazonaws.com/eatops/MOTOROLA+M+DLC+Communication+Protocol+Overview.pdf>. [Último acceso: 24 6 2023].
- [12] YZ SYSTEM, «NJEX 7300G POLEMOUNTED INTUCTION & OPERATING MANUAL,» TEXAS US..
- [13] YZ system, «Section 5: Programming For Proportional To Flow Operation,» de *THE NJEX7300G POLE MOUNTED INSTRUCTION & OPERATING MAUAL*, TEXAS USA, p. 26.
- [14] Todos los derechos reservados, «System Planner Ace3600,» 2009.