

Diseño básico para la visualización remota de la información operacional en las estaciones de
tratamiento de gas natural usando un sistema de comunicaciones alternativo al SCADA

DARWIN MANUEL HERRERA OSPINO

Monografía presentada para Optar el título de Especialista en Ingeniería del Gas.

Director

Ing. JULIO CESAR PEREZ ANGULO
Coordinador Especialización en Ingeniería del Gas

Universidad Industrial de Santander
Facultad de ingenierías fisicoquímicas
Escuela de ingeniería de petróleos
Especialización en ingeniería del gas
Bucaramanga

2018

Contenido

	Pág.
1. Introducción	19
2. Visualización de la información del proceso en un scada.	21
2.1. Medio de comunicaciones alterno.	21
2.2. Dispositivos de comunicaciones seleccionados.	23
2.3. Arquitectura de red con el sistema alterno de comunicaciones:.....	24
2.4. Diagrama de conexiones para el convertidor de señales S7106.	27
2.5. Configuración de los módulos ZigBee.	28
2.6. Configuración de módulos XBee	34
3. Almacenamiento de información	36
4. Interfaz gráfica para visualizar la información	40
5. Conclusiones	41
6. Referencias bibliográficas.....	42

Lista de tablas

Tabla 1 Parámetro CH	28
Tabla 2 Parámetro ID	29
Tabla 3 Parámetro DH	29
Tabla 4 Parámetro DL	29
Tabla 5 Parámetro MY	30
Tabla 6 Parámetro SH	30
Tabla 7 Parámetro SL	31
Tabla 8 Parámetro NR	31
Tabla 9 Parámetro SC	31
Tabla 10 Parámetro SD	32
Tabla 11 Parámetro PL	32
Tabla 12 Parámetro BD	33
Tabla 13 Parámetro AP	33
Tabla 14 Parámetro SM	33
Tabla 15 - Especificaciones del Hardware para instalación del X-CTU	34

Lista de figuras

Figura 1 - Topología de Red Básica (Cliente-Servidor)	21
Figura 2 - XBee Pro 900HP	24
Figura 3 - Convertidor de Señales S7106	25
Figura 4 - Arquitectura de Red para la transmisión de Datos	26
Imagen 5 - Arquitectura de Red con un esquema alternativo al SCADA	27
Figura 6 - Diagrama de conexión para comunicación RS485	27
Figura 7 - Conexión de Señales Análogas convertidor S7106.....	28
Figura 8 – Configuración para lectura de información de campo.	37
Figura 9 – Conversión de la trama.	37
Figura 10 – Información de campo de forma ordenada.....	38
Figura 11 – Almacenamiento de la información obtenida de campo.	38
Figura 12 – Envío de un dato vía correo electrónico	39
Figura 13 – Modelo de interfaz gráfica.....	40

Glosario

#

802.15.4: Es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos. Colaboran con el ZigBee Working Group con el objetivo de publicar un único estándar. La tecnología ZigBee será la responsable de implementar las funciones de la aplicación del dispositivo en cuestión, de la gestión de la red y la seguridad.

A

ACK (Acknowledgment): Acuse de reconocimiento, es una trama de control que se utiliza para confirmar la correcta recepción de una trama de datos.

ACL: Acrónimo de Enlace para comandos de aplicación (en Inglés: Application Command/Connectivity Link).

AODV (Acrónimo de Ad Hoc On-Demand Vector Routing): Es un protocolo de enrutamiento reactivo para redes MANET. Esto significa que AODV no hace nada hasta que un nodo necesita transmitir un paquete a otro nodo para el cual no tiene ruta. AODV sólo mantiene rutas entre nodos que necesitan comunicarse.

AFH (Acrónimo de Adaptative Frequency Hopping): Reduce el impacto de interferencia entre tecnologías inalámbricas, lo que produce una calidad de audio excelente.

APS (Acrónimo de Application Support Sublayer): Es el segundo componente básico del nivel, ofrece una interfaz bien definida y servicios de control asociados. Trabaja como una unión entre el nivel de red y el resto de componentes del nivel de aplicación. Mantiene actualizadas las tablas de asociaciones (binding tables) en forma de base de datos, que puede utilizarse para encontrar dispositivos adecuados en base a los servicios demandados y ofrecidos.

B

Baliza: Las balizas son usadas para sincronizar los dispositivos de la red, identificando la red doméstica, y describiendo la estructura de la supertrama. Los intervalos de las balizas son determinados por el coordinador de red y pueden variar desde los 15msg hasta los 4 minutos.

Bit: Binary Digit. Dígito Binario. Es la unidad de datos más pequeña que puede procesar un sistema digital. Sólo puede tomar los valores "0" ó "1".

Bluetooth: Sistema de comunicación inalámbrica que permite la interconexión de diferentes dispositivos electrónicos (PCs, teléfonos fijos o móviles, agendas electrónicas, auriculares, etc.); es un estándar creado por importantes empresas del sector de la informática y de las telecomunicaciones.

Broadcast: Es un tipo de comunicación punto a multipunto que permite el envío o difusión de información a todos los receptores. La diferencia frente al multicast es que este último permite el envío a un determinado grupo de receptores, pero no necesariamente a todos.

C

Coordinador: Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y End Points. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Router, esto es, participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información.

CSMA-CA: Acceso múltiple por detección de portadora con prevención de colisiones (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).

D

Domótica: La domótica es el conjunto de sistemas electrónicos que pueden automatizar una vivienda y pueden formar una red para comunicarse entre sí.

E

End device: Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro end device. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento.

F

FFD (Acronímico Full Functionality Device): Es el encargado de asumir el rol de coordinador de red y es responsable de inicializar y mantener los dispositivos en la red.

FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum): Es un método de transmisión de señales de radio de rápido cambio de un portador a otro de los muchos canales de frecuencias, utilizando una secuencia pseudo aleatoria del transmisor y el receptor.

G

Gateway: Dispositivo utilizado para conectar diferentes tipos de ambientes operativos. Típicamente se usan para conectar redes LAN a minicomputadores o mainframes.

I

IEEE (Acónimo de Institute of Electrical and Electronics Engineers): Importante asociación de técnicos y profesionales, con sede en los Estados Unidos. Fue fundada en 1884 y en 1998 tenía aproximadamente 320.000 miembros en 147 países. Favorece la investigación en campos diversos, como la tecnología aeroespacial, la computación, las comunicaciones y la tecnología biomédica. Promueve la estandarización de normas.

IP: Protocolo para la comunicación en una red a través de paquetes conmutados, es principalmente usado en Internet. Los datos se envían en bloques conocidos como paquetes (datagramas) de un determinado tamaño (MTU). El envío es no fiable (conocido también como best effort o mejor esfuerzo); se llama así porque el protocolo IP no garantiza si un paquete alcanza o no su destino

correctamente. Un paquete puede llegar dañado, repetido, en otro orden o no llegar. Para la fiabilidad se utiliza el protocolo TCP de la capa de transporte.

ISM (Acrónimo de Industrial-Scientific-Medical): la cual se encuentra disponible mundialmente en la banda de 2,45GHz, que corresponde al rango de frecuencias de 2400 a 2483,5 MHz, con restricciones en Japon, Francia y España. Esta banda es de uso libre y por esta razón otras tecnologías de comunicación inalámbrica también la utilizan, como es el caso de Wi-Fi y Zigbee.

J

Joining: Es el proceso que inicia cada dispositivo (router o end point) para formar parte de una red PAN Zigbee. Es durante este proceso cuando un el dispositivo (el coordinador o un router) padre asigna una dirección de 16 bits al nodo hijo (otro router o un end point) que se quiere unir a la red.

K

KPV: Se utiliza para realizar la configuración, definiendo, solicitando o modificando valores de atributos de objetos por medio de una interfaz simple basada en primitivas get/set, algunas de ellas con petición de respuesta.

L

LMP (Acrónimo de Link Manager Protocol) es el responsable de la configuración y control de enlace entre dispositivos Bluetooth, incluyendo el control y negociación del tamaño de los paquetes de banda base.

M

MAC: Control de acceso al medio (Medium Access Control).

Maximum child end devices: Indica el número máximo de dispositivos finales que puede unirse a cada nodo.

Maximum child router: Indica el número máximo de routers que puede unirse a cada nodo.

MESH: Es una red mallada inalámbrica en el cual se basa en una antena fija proporcionando cobertura a su alrededor. Estas redes permiten establecer un sistema de distribución inalámbrico con varios dispositivos agrupados en una única red, consiguiendo un gran rendimiento y una alta estabilidad.

N

Network address: En la dirección de 16bits que un nodo asigna a un dispositivo que se une a la red.

Network maximum depth: En máximo nivel de descendencia del Coordinador. Es decir, desde un coordinador no pueden descender un nº ilimitado de padres e hijos. Por ejemplo, con un Network Maximum Depth de 5 podríamos tener un Coordinador, del cual descendiendo un Router R1, de este Router R1 descendiendo otro R2, del R2 un R3 y del R3, por ejemplo, un end point. Por supuesto de R1, R2, pueden descender más dispositivos. Hablamos del nº de descendientes desde el Coordinador. Es decir, para un Network Maximum Depth de 5 lo máximo que puede ser el Coordinador es un Tatarabuelo.

Nodos: Punto de intersección o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar. En una red cada computadora constituye un nodo.

NWK: Une o separa dispositivos a través del controlador de red, implementa seguridad, y encamina tramas a sus respectivos destinos

O

Operating channel: Es la frecuencia seleccionada por el canal de comunicaciones entre nodos. En canal de comunicaciones es escogido por el coordinador al “arrancar” la red. El coordinador de la red, al iniciar la red, mide la energía RF en cada canal de comunicaciones. El canal que detecte con menos energía (menos interferencias) será el escogido para operar.

OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos): Norma universal para protocolos de comunicación

P

PAN (Acrónimo de Personal Area Network): Se entiende por PAN una red de comunicaciones que incluye un Coordinador de red y uno o más routers o dispositivos finales (end points).

PHY (Acrónimo Physical Layer Protocol) Traduce las comunicaciones peticiones de la capa de enlace de datos en hardware específico para afectar las operaciones de transmisión o recepción de señales electrónicas.

R

RFD (Acrónimo de Reduced Functionality Device): Es un dispositivo de función reducida muy sencillos con recursos y necesidades de comunicación muy limitadas.

Router: Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para enrutar un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red Zigbee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o de End points.

Route reply: Es la respuesta del dispositivo final buscado a través de un ROUTER REQUEST. Cuando este dispositivo ve que la trama (enviada en broadcast) está buscando a un dispositivo con su dirección, responde al dispositivo que envió el route request.

Route request: Broadcast enviado a la red Zigbee por el coordinador o un router para intentar establecer la ruta hacia un determinado dispositivo.

S

Sensores: Dispositivo formado por células sensible que detecta variaciones en una magnitud física y las convierte en señales útiles para un sistema de medida o control.

Security service provider (SSP): Interfaz de proveedor de soporte de seguridad.

T

TCP/IP: Es el protocolo que utiliza internet para la comunicación.

TDD (Acrónimo de Time Division Duplex). Dúplex por división en el tiempo. Modo dúplex en el que cada sentido ocupa distintos intervalos de tiempo dentro de la misma banda de frecuencias (banda no pareada). Modo de transmisión en el que cada usuario dispone de un determinado intervalo de tiempo para operar con lo que se consigue que varios usuarios compartan el mismo canal de comunicaciones.

Tipología: Es la forma de la red. Predominan tres tipos de tecnologías: Bus, Estrella y Anillo.

W

WPAN (Acrónimo de Wireless Personal Area Networks) Red Inalámbrica de Área Personal es una red de computadoras para la comunicación entre distintos dispositivos (tanto computadoras, puntos de acceso a internet, teléfonos celulares, PDA, dispositivos de audio, impresoras) cercanos al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros y para uso personal, así como fuera de ella.

Wi-Fi: Estándar que hace referencia al protocolo IEEE802.11b, gestionado por el Wireless Ethernet Compatibility Alliance. El sello WiFi nos garantiza la compatibilidad entre productos, de distintos fabricantes, con dicha certificación.

X

XML (Acrónimo de Extended Markup Language): Lenguaje de etiquetado extendido

Z

Zigbee stack: La pila zigbee es un protocolo de alto nivel pensado para dispositivos de bajo consumo. Opera encima de la capa de especificación 802.15.4 (protocolo de comunicaciones RF). Por ejemplo las capacidades mesh y de ruteado forman parte de la pila Zigbee.

Resumen

TITULO: Diseño básico para la visualización remota de la información operacional en las estaciones de tratamiento de gas natural usando un sistema de comunicaciones alternativo al SCADA.¹

AUTOR: Darwin Manuel Herrera Ospino.²

Palabras Claves: ZigBee, SCADA, Aplicativo Web Básico, Monitoreo Remoto.

Esta monografía presenta una alternativa de comunicaciones para la adquisición de datos de forma remota e independiente al SCADA, sin tener que pagar al usar un ancho de banda exclusivo para transmitir la información de las variables de proceso que son de importancia en una planta de tratamiento de gas o estaciones de monitoreo ubicadas a lo largo del gasoducto y sin usar equipos especiales con alto costo. Este estudio comprende los requerimientos técnicos necesarios para la implementación de un sistema de comunicaciones basado en la tecnología de transmisión de datos inalámbrica ZigBee, la cual opera en la banda de 2.4 GHz. La red se construye instalando dispositivos ZigBee en cada instrumento o equipo de campo dependiendo del tipo de señal, de tal forma que la variable del proceso sea codificada para que otro dispositivo denominado routers reciba la información y posteriormente se envíe a un coordinador (Unidad central) en donde se procesan los datos generados por el proceso, permitiendo visualizarlos de forma dinámica en un plataforma Web con los datos de interés.

Otro aporte a la tecnología es que permite enviar información inalámbrica cuando por la ubicación geográfica del sitio no tenga cobertura de las tecnologías de comunicaciones, o sistema de alimentación permanente por la red eléctrica para la instalación de convertidores de medio para interconectar redes de comunicación física.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de petróleos. Director: Ingeniero Julio Cesar Perez Angulo.

Abstract

TITLE: Basic design for the remote visualization of operational information in natural gas treatment stations using an alternative communication system to SCADA.³

AUTHOR: Darwin Manuel Herrera Ospino.⁴

Key Words: ZigBee, SCADA, Basic Web Application, remote monitoring.

This monograph presents a communication alternative for the remote and independent acquisition of data in the SCADA, without having to pay to use an exclusive bandwidth to transmit the information of the variables of an important process in a treatment plant gas or monitoring stations located along the gas pipeline and without using special equipment with high cost. This study includes the necessary technical requirements for the implementation of a communication system based on the ZigBee wireless technology, which operates on the 2.4 GHz band. The network is implemented by installing ZigBee devices in each instrument or field equipment according to the type of signal, in such a way that the information is sent codified to the routers and, lately, to a coordinator (central unit) where the data can be processed and dynamically visualized in a web platform With important variables the process.

Another contribution to technology is that it allows us to send wireless information when the location does not have coverage of communications technologies, or the permanent power supply system for the electrical network for the installation of media converters for physical communication networks.

³ Monograph of specialization.

⁴ Physicochemical Engineering Faculty. School of Petroleum Engineering. Julio Cesar Perez Angulo

1. Introducción

Para realizar el control y/o monitoreo en las estaciones de tratamiento de gas o cualquier otro sistema instalado en las estaciones que hacen parte de la red de transporte de Gas Natural, se requiere la implementación de un SCADA que usa software licenciados, los cuales son instalados en un equipo de cómputo en un cuarto de control local cerca del área de procesos o en un sitio ubicado estratégicamente, para que de forma remota el personal de operación y mantenimiento realice acciones que permitan garantizar la continuidad de la operación y las condiciones en el proceso. Toda esta infraestructura requiere altas inversiones en la parte de Hardware o Software, debido a los avances tecnológicos el estado del arte es muy cambiante en estos aplicativos y no siempre se cubre los aspectos con soluciones a la medida, siendo necesarios inversiones económicas periódicas para las actualizaciones y/o implementaciones de manera que sean más eficientes a las necesidades del usuario o simplemente que permitan la compatibilidad del HMI con el sistema operativo (software).

La implementación del diseño objeto de este proyecto de investigación, propone la utilización de un medio comunicaciones alternativo al SCADA con un bajo costo económico en su implementación, de forma que se envíe la información del proceso a otra ubicación remota y que en un equipo de cómputo, se pueda visualizar la información sin el uso de una RTU o PLC que requiera usar plataformas basadas en HMI para la lectura de la información o que se requieran licencias para su funcionamiento. Para lograr esto se requiere la implementación de equipos de comunicaciones con tecnología ZigBee, los cuales permiten enviar la información operacional de forma

inalámbrica y en tiempo real de algunas variables de interés administrativo o gerencial a sitios remotos.

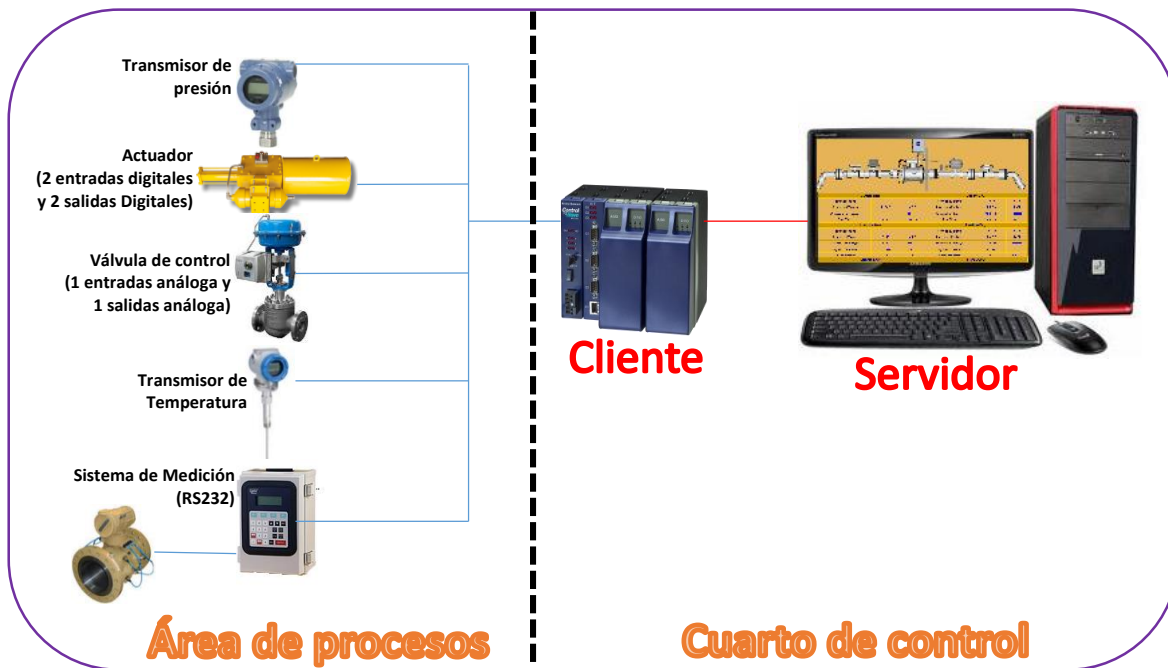
El uso de esta tecnología inalámbrica permite establecer una conexión sin necesidad de cables, desapareciendo las limitaciones de espacio y tiempo, facilitando su implementación ya que puede ubicarse un dispositivo u ordenador en cualquier lugar. Esta tecnología tiene una limitante al usarse en cuanto a interferencias y/o exclusividad, debido a que usa las bandas libres para su transmisión y no cuenta con la protección del Estado, lo que caracteriza a la tecnología ZigBee es la cantidad de dispositivos que pueden estar asociados a una red los cuales son 65535 nodos.

Lo mejor de esta tecnología es que esta en desarrollo constante y puede mejorar mucho como lo ha demostrado la empresa DIGI lanzando la nueva generación de sus dispositivos ZIGBEE XBEE 3.0.

2. Visualización de la información del proceso en un SCADA.

El uso más simple en SCADA es la estructura Cliente-Servidor, en la cual se conectan al Cliente (RTU o PLC) la instrumentación de procesos ubicada en campo, estas señales son procesadas y se envían al Servidor mediante el sistema de comunicaciones para su visualización o almacenamiento en una base de datos. Una topología de red básica es mostrada en la figura No1 a continuación.

Figura 1 - Topología de Red Básica (Cliente-Servidor)



Herrera D. 2018. Autor del Proyecto.

2.1. Medio de comunicaciones alterno.

La Alianza ZIGBEE desde su conformación ha desarrollado una estándar para redes inalámbricas de muy bajo costo, capacidades de control y monitoreo, operan vía radiofrecuencia, modo bidireccional, buena seguridad y bajo consumo de energía. Además de estas características tiene

muchas más que han sido desarrolladas pensando en su implementación en aplicaciones como la domótica, aplicaciones con sensores médicos, juguetes y muchas más que no requieran una gran velocidad de transmisión.

A continuación se describen algunas características al usar esta tecnología:

- Bajo consumo de energía por parte de los dispositivos en todos los niveles
- Tasas de transmisión de la información de hasta 250 Kbps.
- Soporta varias topologías entre ellas la de MESH permitiendo la auto recuperación de problemas en la red aumentando la confiabilidad de la misma.
- La distancia de transmisión puede variar entre 10m y 75m dependiendo de la versión de los equipos, esta puede ser mayor.
- Permite utilizar dispositivos como enrutadores logrando así un mayor cubrimiento geográfico.
- A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y, a características propias del estándar IEEE 802.15.4.

Los módulos Zigbee de la marca XBEE pueden ser configurados en modo AT, de esta forma la información recibida por el puerto serial será transmitida a todos los módulos XBEE con los que tenga comunicación directa o indirectamente, o se pueden configurar para que transmitan a un único equipo que se encuentre direccionado mediante los parámetros de configuración DH y DL.

En los instrumentos de campo se le debe adaptar un módulo XBEE, dependiendo si se requiere de forma individual o se conectarían varias señales a un transductor con antena, para que a través de un puerto serial previamente configurado con una tabla modbus se puedan observar las variables conectadas al dispositivo.

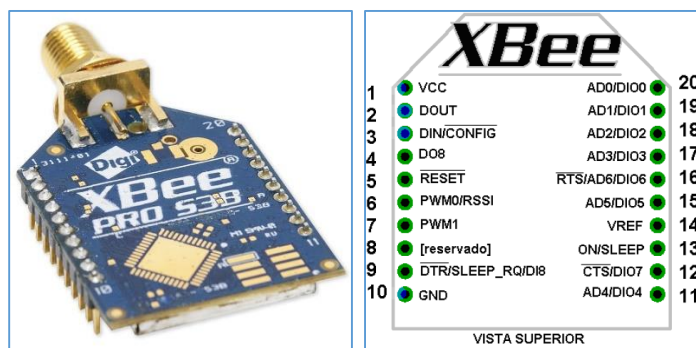
En una instalación remota se tendrá un servidor (Equipo de cómputo) donde se cuente con un módulo XBEE conectado mediante puerto serial del PC y mediante con el software de simulación Modbus Master, se pueden leer las señales de forma remota. Se instalará el software que permita la interacción con los datos de los equipos de campo mediante una interfaz que generaría un archivo plano, mediante una macro se debe establecer los límites mínimos y máximos de cada variable para que sean activadas las alarmas y ese archivo podrá ser usado para graficar las variaciones significativas de cada variable.

2.2. Dispositivos de comunicaciones seleccionados.

Los módems RF de 900HP XBee-PRO®, en la figura No2 se muestra una imagen real del equipo, de la de la marca Digi Internacional son una solución pequeña, de baja potencia que utilizan el módulo RF XBee-PRO 900HP que podría instalarse en un gabinete para comunicarse con sistemas que utilizan RS-232, RS-485 e interfaces USB. Los módems de RF XBee-PRO 900HP (10 K) aprovechan la topología de red de punto a multipunto, que ofrece un rango superior. Admiten rangos de línea de vista de RF que oscilan hasta 28 millas (con antenas de alta ganancia), estos módems son ideales para aplicaciones de alcance extendido.

Los módems RF XBee-PRO 900HP permiten al usuario transformar fácilmente los sistemas por cable a modo inalámbrico simplemente conectándolos a este producto. Aprovechan el protocolo de red DigiMesh®, que ofrece operación de red mediante tecnología de malla.

Figura 2 - XBee Pro 900HP.



Fuente: Digi International Inc. (2018). Digi XBee-PRO® 900HP, recuperado el 1 de Agosto del 2018 de <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/sub-1-ghz-modules/xbee-pro-900hp#resources>.

2.3. Arquitectura de red con el sistema alternativo de comunicaciones:

Para determinar la arquitectura de red para el sistema alternativo de comunicaciones se debe conocer los siguientes conceptos:

- Dispositivos finales: Son aquellos que van a capturar los datos enviados por los sensores, digitalizarlos y enviarlos a través de la red, estos dispositivos estarán “despiertos” un pequeño lapso del tiempo al día donde se encargaran de tomar la muestra y enviar los datos, el resto del día estarán “dormidos” o en stand by a la espera de alguna anomalía o petición por parte del coordinador. Los dispositivos a utilizar serán los Digi XBee-PRO 900HP o el Modulo de

referencia S7106 (Ver Figura No3): 4 channels 0- 5V, 0 -10V, 4 - 20mA analog inputs, 12bits ADC, 2 channels relay output (220VAC/3A) Modbus RTU/ASCII, Zigbee wireless.

Figura 3 - Convertidor de Señales S7106

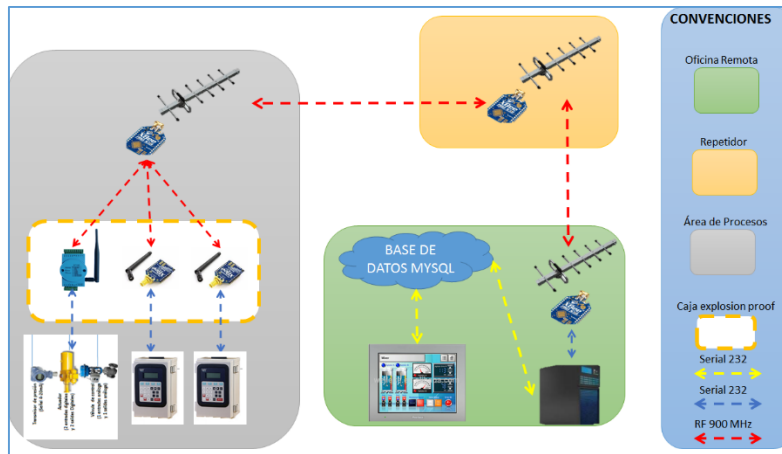


Fuente: SHJ Electronic Co. (2018). S7100, recuperado el 1 de Agosto del 2018 de: <http://www.shjelectronic.com/ZigbeeModules.htm>

- Routers: Son los encargados de transportar y direccionar los datos digitalizados obtenidos por los dispositivos finales hasta llegar al coordinador, en este caso se utilizaría como Routers, el Digi XBee-PRO 900HP (Ver figura No2).
- Coordinador: Este dispositivo será único con el fin de manejar la red desde un mismo punto, estará ubicado en un computador en la oficina principal. Este dispositivo será el único que cuente con una interfaz para el control de la red.

- Teniendo en cuenta la selección de equipos para el canal de comunicaciones alterno, en la figura 4 se observa la arquitectura de red propuesta para el intercambio de información desde una ubicación diferente al área de procesos.

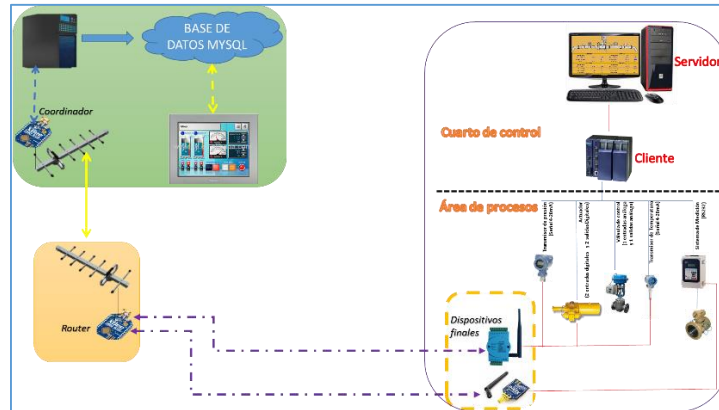
Figura 4 - Arquitectura de Red para la transmisión de Datos



Herrera D. 2018. Autor del Proyecto.

Al colocar los dispositivos ZigBee en el ejemplo de la imagen 1 la cual muestra una arquitectura cliente servidor básica, se obtiene como resultado la siguiente distribución de elementos los cuales permiten que la información del área de procesos sea enviada a una locación diferente que al cuarto de control local. Ver figura No 5.

Imagen 5 - Arquitectura de Red con un esquema alternativo al SCADA

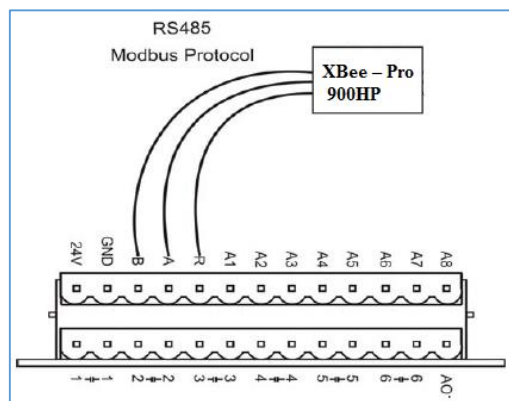


Herrera D. 2018. Autor del Proyecto.

2.4. Diagrama de conexiones para el convertidor de señales S7106.

En la figura No 6 se observa cómo se conecta el módulo de comunicaciones para el envío de información al coordinador a través del router.

Figura 6 - Diagrama de conexión para comunicación RS485

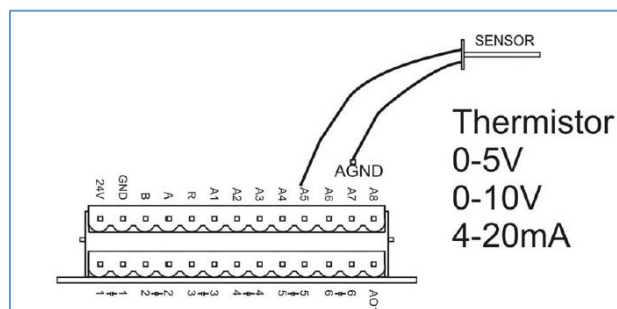


Fuente: SHJ Electronic Co. (2018). Technical_S7100.zip, recuperado el 1 de Agosto del 2018

de: <http://www.shjelectronic.com/ZigbeeModules.htm>.

En la imagen No7 se observa cómo se conectan las señales analógicas al convertidor de señales S7106 para que la información sea enviada al coordinador.

Figura 7 - Conexión de Señales Análogas convertidor S7106.



Fuente: SHJ Electronic Co. (2018). Technical_S7106.zip, recuperado el 1 de Agosto del 2018 de: <http://www.shjelectronic.com/ZigbeeModules.htm>.

2.5. Configuración de los módulos ZigBee.

Los módulos ZIGBEE tienen muchos parámetros que pueden ser configurados según la necesidad de cada aplicación, los principales parámetros que deberían configurarse para cualquier red son:

- Parámetro CH: Este parámetro permite asignar el canal que será utilizado para transmitir o recibir datos entre los módulos basándose en el estándar IEEE 802.15.4.

Tabla 1 Parámetro CH

Rango	Valor por defecto
0, 0x0B-0x1A (XBee) 0, 0x0C – 0x18 (XBee- PRO)	[solo lectura]

- *Parámetro ID*: Permite identificar a una red de área personal en particular.

Tabla 2 Parámetro ID

Rango	Valor por defecto
0 - 0x3FFF, 0xFFFF	0x0234 (291d)

- *Parámetro DH*: Corresponde a los últimos 32 bits (más significativos) de los 64 bits correspondientes a la dirección de destino. Este valor en conjunto con el parámetro DL forma la dirección de destino usada para la transmisión. Para transmitir utilizando direcciones de 16 bits, el valor de DH debe ser cero, y el valor de DL debe ser inferior a 0xFFFF.

Tabla 3 Parámetro DH

Rango	Valor por defecto
0 - 0xFFFFFFFF	0

- *Parámetro DL*: Corresponde a los primeros 32 bits (menos significativos) de los 64 bits que forman la dirección de destino. El valor de DL en conjunto con el valor de DH definen la dirección de destino. Para emplear direcciones de 16 bits el valor de DH debe ser 0 y el valor de DL debe ser menor a 0xFFFF. Los dispositivos finales (módulo 1 y 2) solamente hablarán con el coordinador, por este motivo su dirección de destino corresponde a la dirección del coordinador. El coordinador deberá hablar con los dispositivos finales (módulo 1 y 2), por lo cual su dirección cambiará dependiendo del módulo con el cual desea comunicarse.

Tabla 4 Parámetro DL

Rango	Valor por defecto
0 - 0xFFFFFFFF	0xFFFF(Coordinador) 0 (Router)

- Parámetro MY: Define una dirección de origen de 16 bits. Para deshabilitar la dirección de 16 bits y habilitar la dirección de 64 bits, se debe poner MY=0xFFFF. La dirección de origen de 64 bits siempre está habilitada.

Tabla 5 Parámetro MY

Rango	Valor por defecto
0 - 0xFFFE	0xFFFE

- Parámetro SH: Este parámetro permite leer los 32 bits más significativos de los 64 bits que forman la dirección de origen. La dirección de origen es un número único, asignado por el IEEE para cada módulo de RF.

Los 64 bits de dirección son siempre habilitados.

Tabla 6 Parámetro SH

Rango	Valor por defecto
0 - 0xFFFFFFFF	Asignado por la fabrica

- Parámetro SL: Este parámetro permite leer los 32 bits menos significativos de los 64 bits que forman la dirección de origen. La dirección de origen es establecida por el IEEE, como un número único para cada módulo. Los 64 bits de dirección son siempre habilitados.

Tabla 7 Parámetro SL

Rango	Valor por defecto
0 - 0xFFFFFFFF	Asignado por fabrica

- Parámetro NR: El valor de este parámetro es el mínimo valor usado en el exponente del algoritmo de back-off, para determinar los periodos de tiempo que se debe esperar antes de transmitir de acuerdo al método CSMA-CA1, con el objetivo de evitar colisiones. El valor asignado en nuestro caso es el valor por defecto NR=0, esto permite que el evitar una colisión, sea deshabilitada durante la primera iteración del algoritmo.

Tabla 8 Parámetro NR

Rango	Valor por defecto
0 – 1	--

- Parámetro SC: Este parámetro define la lista de los canales que son examinados para determinar si están activos y el nivel de energía detectada. Este parámetro afecta cuando inicia el modo de comandos, durante la asociación de dispositivos finales y durante el establecimiento de un coordinador. Un bit representa el canal (desde el 11 hasta el 26).

Tabla 9 Parámetro SC

Rango	Valor por defecto
XBee 1 - 0xFFFF XBee-PRO 2 - 0x3FFE (bits 0, 14, 15 no permitidos)	0x1FFE

- **Parámetro SD:** Este parámetro establece el tiempo para examinar el canal. Para un dispositivo final, establece el tiempo que se examina el canal durante un proceso de asociación. En el caso de un coordinador, si la opción de reasignación de identificador está activado, fija el periodo de tiempo durante el cual examinará el canal para localizar redes existentes. Por otro lado, si la opción para reasignar el canal está activada, determina la cantidad de tiempo durante el cual se examinará el nivel de energía del canal, para determinar sobre cual canal se operará. Este parámetro puede variar entre 0 a 15. El tiempo es calculado de la siguiente manera: tiempo = (número de canales)*(2SD)*(15.36ms). Rango: 0 – 0x0F

Tabla 10 Parámetro SD

Rango	Valor por defecto
0 - 7 [exponente]	3

- **Parámetro PL:** El valor asignado a este parámetro, define el nivel de potencia con el cual el módulo de RF transmitirá. En la tabla 3.18, se indica las opciones disponibles y el valor seleccionado.

Tabla 11 Parámetro PL

Rango	Valor por defecto
XBee 0 = -8 dBm 1 = -4 dBm 2 = -2 dBm 3 = 0 dBm 4 = +2 dBm XBee-PRO 4 = 18 dBm	4

- **Parámetro BD:** Corresponde a la velocidad de transmisión seleccionada para establecer una comunicación (serial) entre el puerto serial del módulo y un dispositivo (computadora, microcontrolador, etc.).

Tabla 12 Parámetro BD

Rango	Valor por defecto
0 - 7 0 = 1200 bps 1 = 2400 2 = 4800 3 = 9600 4 = 19200 5 = 38400 6 = 57600 7 = 115200 0x80 - 0x38400	3

- **Parámetro AP:** Establece el modo de operación del módulo. AP=0 operación transparente y AP=1 modo de operación API.

Tabla 13 Parámetro AP

Rango	Valor por defecto
1 - 2 1 = API-activo 2 = API-activo (con control de caracteres de escape)	1

- **Parámetro SM:** Este parámetro permite seleccionar el modo dormido. Este parámetro es utilizado para reducir el consumo de potencia del módulo. El valor igual a cero, deshabilita el modo dormido, el módulo siempre está activo.

Tabla 14 Parámetro SM

Rango	Valor por defecto
0-deshabilitado 1-Modo cíclico Nota: Cuando SM=0, El dispositivo opera como router. Cuando SM es distinto de 0 el dispositivo sale de la red y se vuelve a unir como dispositivo final.	0

2.6. Configuración de módulos XBee

El X-CTU es el software provisto por la empresa DIGI para la configuración de los módulos XBEE, aunque estos módulos se podrían configurar por Hyper Terminal a través de una secuencia de comandos. El software requiere estas especificaciones mínimas para su instalación:

Tabla 15 - Especificaciones del Hardware para instalación del X-CTU

HARDWARE	Mínimo	Máximo
CPU	Procesador Dual Core	Procesador Quad Core
Memoria RAM	2GB	4 GB
Espacio en el Disco Duro	500 MB	1 GB

- Compatibilidad con los sistemas operativos:
- Windows Vista/7/8/10 (versiones de 32-bit o 64-bit).
- Mac OS X v10.6 and higher versions (Solo en 64-bit)
- Linux with KDE or GNOME window managers (versiones de 32-bit o 64-bit)

Al iniciar el programa X-CTU el software despliega cuatro pestañas en la parte superior y cada una tiene una función distinta:

PC Settings: Permite seleccionar y configurar el puerto COM deseado para realizar a configuración de los dispositivos. En esta parte el aplicativo indica tres secciones básicas, la de configuración de los puertos COM (COM port setup), la de configuración del host o anfitrión y la de los puertos COM del usuario. Configuración de los puertos Seriales (COM port setup): Es

donde el usuario selecciona el puerto serial y lo configura, algunos campos de configuración y sus respectivos parámetros de configuración son:

Rata de baudios (Baud Rate):	Desde 9600 hasta 230400
Control de flujo (Flow Control):	Hardware, Software (Xon/Xoff), Ninguno
Bits de datos (Data bits):	4, 5, 6, 7, y 8
Paridad (Parity):	Ninguno, Par, Impar, Marca y Espacio
Bit de parada (Stop bit):	1, 1.5, y 2

Range Test: Permite realizar una prueba de distancia entre dos módulos.

Terminal: Permite el acceso al puerto COM del computador con un emulador de un programa de terminal. Desde esta pestaña también se puede acceder al *firmware* o controlador del módulo utilizando comandos AT

Modem Configuration: Permite la programación de los módulos utilizando una interfaz de usuario gráfica. Esta pestaña también permite la actualización del firmware de los dispositivos.

3. Almacenamiento de información

Dependiendo de la aplicación y la distancia se establece una configuración especial para cada dispositivo.

Para la lectura de la información de campo a través de los dispositivos finales, es necesario desarrollar una programación en lenguaje C# mediante plataforma Visual Studio, el software se ejecuta desde el servidor donde esta configurador el coordinador como Maestro Modbus, la información que se recibe se capturan en tramas con formato hexadecimal y luego se deben convertir en datos reales o punto flotantes para posteriormente ser almacenados en una base de datos MYSQL.

Para obtener información de los equipos de campo, el software envía al computador de flujo una trama MODBUS a través del puerto serial configurado donde a través del coordinador se solicita los registros desde el 7000 al 7006 de la tabla Modbus que viene predefinida en el equipo, con las siguientes instrucciones:

```
byte[] indexE = { 0x01, 0x03, 0x1B, 0x58, 0x00, 0x07, 0x83, 0x3F };
```

```
this.puertoserial.Write(request_g, 0, request_g.Length);  
this.puertoserial.Encoding = System.Text.Encoding.GetEncoding(1252);
```

Posteriormente el computador de flujo responde una trama en el mismo formato con los valores para cada registro, esta trama se verifica contra valores de referencia de la tabla enviada por el maestro (Ver figura 8):

Figura 8 – Configuración para lectura de información de campo.

```
//0-fecha 1-hora 2-presion 3-temperatura 4-energia 5-volumen 6-masa 7-PC 8-Densidad 9-TempBatt 10-Rata
try
{
    if ((Convert.ToInt16(fecha[0]) < 2016) || (Convert.ToDouble(items[3]) < -1000) || (Convert.ToDouble(items[3]) > 200) || (Convert.ToDouble(items[8]) < -1000)
        || (Convert.ToDouble(items[8]) > 500000) || (Convert.ToDouble(items[7]) < -1000) || (Convert.ToDouble(items[7]) > 20000000)
        || (Convert.ToDouble(items[5]) < -1000) || (Convert.ToDouble(items[5]) > 20000000))
    {
        registro.Items.Add("Cadena incorrecta");
        correo = false;
    }
    else
    {
        registro.Items.Add(" - Extraido");
        status.Text = registro.Items[registro.Items.Count - 1].ToString();
        //bar.Value = 60;

        put_itemsF(items, tipo);
        registro.Items.Add(" - Publicado");
        status.Text = registro.Items[registro.Items.Count - 1].ToString();
        //bar.Value = 70;
    }
}
```

Al recibir la información en el equipo, se procede a convertir del formato hexadecimal a un formato de interpretación para el software (Ver figura 9):

Figura 9 – Conversión de la trama.

```
if (tmp.Length == 2) { items[1] = "00:" + tmp.Substring(0, 2); }
else if (tmp.Length == 3) { items[1] = "0" + tmp.Substring(0, 1) + ":" + tmp.Substring(1, 2); }
else if (tmp.Length == 4) { items[1] = tmp.Substring(0, 2) + ":" + tmp.Substring(2, 2); }

if (punto == 4)//eagle.
{
    items[0] = DateTime.Now.Date.ToString("yyyy-MM-dd");
    items[1] = DateTime.Now.ToString("H:mm");
    orden = 0;
}

if (tipo < 4)
{
    for (int i = 2; i < 11; i++)
    {
        if (ind[i] == 1000) { items[i] = "0.0000"; }
        else { items[i] = ieee(cadena.Substring(ind[i], 8), orden); }
        // MessageBox.Show(items[i]);
    }

    if (punto == 2) { items[6] = (Convert.ToDouble(items[6]) / 1000).ToString("0.0000"); }
    if (punto == 4)
    {
        tmp2 = (Double.Parse(items[3]) * 1.8) + 32;
        items[3] = tmp2.ToString("0.0000");
        tmp2 = Double.Parse(items[10]) * 24;
        items[10] = tmp2.ToString("0.0000");
    }
    if (punto == 3)
    {
        items[4] = (Convert.ToDouble(items[4]) / 1000).ToString("0.0000");
        items[5] = (Convert.ToDouble(items[5]) / 1000).ToString("0.0000");
        items[10] = (Convert.ToDouble(items[10]) / 1000).ToString("0.0000");
    }
}
```

Después de la conversión la información se observa de la siguiente manera (Ver figura 10):

Figura 10 – Información de campo de forma ordenada.

```
private void put_itemsF(String[] items, int tipo)
{
    //0-fecha 1-hora 2-presion 3-temperatura 4-energia 5-volumen 6-masa 7-PC 8-Densidad 9-TempBatt
    if (tipo == 1)
    {
        DD = items;
        fecD.Text = items[0];
        horD.Text = items[1];
        preD.Text = items[2];
        temD.Text = items[3];
        eneD.Text = items[4];
        volD.Text = items[5];
        masD.Text = items[6];
        podD.Text = items[7];
        denD.Text = items[8];
        tebD.Text = items[9];
        ratD.Text = items[10];
    }
}
```

Con la información modificada se procede a guardar en la base de datos local (Ver figura 11):

Figura 11 – Almacenamiento de la información obtenida de campo.

```
String connectionString;
connectionString = "Data Source=[DataDirectory]..\telemetria.sdf";
SqlConnection conn = new SqlConnection();
SqlCommand comando = new SqlCommand();
comando.Connection = conn;
comando.CommandText = "INSERT INTO consumos(fecha, hora, remitente, punto, presion, temperatura, energia, volumen, " +
"masa, poder, densidad, aux1, aux2, tiporeg) VALUES (@fecha, @hora, @remitente, @punto, @presion, @temperatura, @energia, " +
"@volumen, @masa, @poder, @densidad, @aux1, @aux2, @tiporeg)";
try
{
    conn.ConnectionString = connectionString;
    conn.Open();
    comando.CommandType = CommandType.Text;
    //0-fecha 1-hora 2-presion 3-temperatura 4-energia 5-volumen 6-masa 7-PC 8-Densidad 9-TempBatt

    comando.Parameters.AddWithValue("@fecha", items[0].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@hora", items[1].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@punto", punto);
    comando.Parameters.AddWithValue("@remitente", remitente);
    comando.Parameters.AddWithValue("@presion", items[2].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@temperatura", items[3].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@energia", items[4].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@volumen", items[5].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@masa", items[6].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@poder", items[7].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@densidad", items[8].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@aux1", items[9].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@aux2", items[10].ToString());
    comando.Parameters.AddWithValue("@tiporeg", tipo);

    int fil = comando.ExecuteNonQuery();
}
```

Para facilitar la información a nivel externo, el computador donde está conectado el coordinador debe estar conectado a internet y mediante la siguiente instrucción se puede enviar la información vía correo electrónico (Ver figura 12):

Figura 12 – Envío de un dato vía correo electrónico

```
string Asunto = "DATOS TELEMETRIA - " + names_pto[punto] + " - " + itemO[0]; // "+" - " + itemO[1];
int Puerto = 587;

//Declaro la variable para enviar el correo
System.Net.Mail.MailMessage mail = new System.Net.Mail.MailMessage();
mail.From = new System.Net.Mail.MailAddress(Usuario);
mail.Subject = Asunto;
mail.To.Add(mails);
mail.IsBodyHtml = true;
mail.Body = Body;

//Configuracion del servidor
System.Net.Mail.SmtpClient Servidor = new System.Net.Mail.SmtpClient();
Servidor.Host = SMTP;
Servidor.Port = Puerto;
Servidor.EnableSsl = true;
Servidor.Credentials = new System.Net.NetworkCredential(Usuario, Contraseña);
try
{
    if (correo == true)
    {
        Servidor.Send(mail);
        registro.Items.Add(" - Enviado");
        status.Text = registro.Items[registro.Items.Count - 1].ToString();
    }
    //bar.Value = 20;
}
}
```

4. Interfaz gráfica para visualizar la información

Para visualizar la información de campo se propone integrar las señales de forma ordenada de acuerdo a la hora anterior, el día anterior y el acumulado del día, para que visualmente se tenga la información disponible y poder conocer cuál es el estado de la operación en campo. (Ver figura 12)

Figura 13 – Modelo de interfaz gráfica.

Hora Anterior		Dia Anterior		Acumulados Dia	
Fecha	<input type="text"/>	Fecha	<input type="text"/>	Fecha	<input type="text"/>
Hora	<input type="text"/>	Hora	<input type="text"/>	Hora	<input type="text"/>
Presión	<input type="text"/> Pai	Presión	<input type="text"/> Pai	Presión	<input type="text"/> Pai
Temperatura	<input type="text"/> °F	Temperatura	<input type="text"/> °F	Temperatura	<input type="text"/> °F
Energía	<input type="text"/> MBTU	Energía	<input type="text"/> MBTU	Energía	<input type="text"/> MBTU
Volumen	<input type="text"/> KPCE	Volumen	<input type="text"/> KPCE	Volumen	<input type="text"/> KPCE
Rata	<input type="text"/> KPCEd	Rata	<input type="text"/> KPCEd	Rata	<input type="text"/> KPCEd
Masa	<input type="text"/> KLb	Masa	<input type="text"/> KLb	Masa	<input type="text"/> KLb
Poder calorífico	<input type="text"/> BTU/PC	Poder calorífico	<input type="text"/> BTU/PC	Poder calorífico	<input type="text"/> BTU/PC
Densidad	<input type="text"/> Lb/PC	Densidad	<input type="text"/> Lb/PC	Densidad	<input type="text"/> Lb/PC
Voltaje	<input type="text"/> V	Voltaje	<input type="text"/> V	Voltaje	<input type="text"/> V

Estado proceso

Estado proceso

button3

Estado servicio

Detener servicio

Probar

Simular servicio

Dia

Hora

Correo

Acumulado

Herrera D. 2018. Autor del Proyecto.

5. Conclusiones

- El estudio de investigación propone usar un medio de comunicaciones inalámbrico que no usa dispositivos de avanzada tecnológica como un PLC, DSC o una RTU.
- Al tener definida una distancia entre la estación y el área donde se ubicaría el coordinador se debe ubicar los routers necesarios para que se tenga el alcance de la transmisión cubierta y no existan pérdida de información.
- El sistema de control o monitoreo instalado en la estación, provee la energía que requiere los dispositivos finales para su funcionamiento, la cual no impactaría el consumo debido a que la energía de consumo es miliamperios. En el caso de los routers solo con la instalación de baterías 3.3 volts proveerá la energía necesaria para replicar la información, en promedio el tiempo para el cambio puede ser de 3 o 4 años, la única observación sería usar una antena externa y con alta ganancia en la transmisión.
- En la actualidad las plataformas del SCADA se han preocupado porque la información visualizada del proceso sea confiable, que integre la mayor información y que esté disponible de forma oportuna, de manera que se puedan lograr objetivos estratégicos en las organizaciones, volviéndose una obligación y no una opción.

6. Referencias bibliográficas

Información Detallada para la conexión de dispositivos XBee, Internet, Disponible en:

<https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/sub-1-ghz-modules/xbee-pro-900hp#resources>.

(Consulta 1 de Agosto 2018).

Información Detallada para la conexión de dispositivos conversores con tecnología XBee, Internet, Disponible en: <http://www.shjelectronic.com/ZigbeeModules.htm> (Consulta 1 de Agosto 2018).