

EVALUACIÓN COSTO-BENEFICIO ENTRE LA IMPLEMENTACIÓN DE
INSTRUMENTACIÓN INALÁMBRICA E INSTRUMENTACIÓN CABLEADA PARA
CAMPO ESCUELA COLORADO

OSCAR ENRIQUE DÍAZ SERRANO
GIANINA GARRIDO SILVA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2012

EVALUACIÓN COSTO-BENEFICIO ENTRE LA IMPLEMENTACIÓN DE
INSTRUMENTACIÓN INALÁMBRICA E INSTRUMENTACIÓN CABLEADA PARA
CAMPO ESCUELA COLORADO

OSCAR ENRIQUE DÍAZ SERRANO
GIANINA GARRIDO SILVA

Trabajo para optar al título en Ingeniería Electrónica

Director
Msc. Julio A. Gélvez F.

Codirector
Msc. Alfredo R. Acevedo Picón



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2012

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres y familiares por su apoyo incondicional y por ser los pioneros en nuestra formación personal y profesional.

A la Universidad Industrial de Santander, a Campo Escuela Colorado y a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones por su apoyo y formación profesional durante toda nuestra carrera.

A nuestro director Msc. Julio A. Gélvez F. y Codirector Msc. Alfredo R. Acevedo Picón, por su colaboración y orientación, debido a que los conocimientos aportados durante el desarrollo del proyecto facilitaron la culminación satisfactoria de este trabajo.

A los ingenieros de Campo Escuela Colorado por su colaboración y ayuda brindada para la realización del proyecto.

A todos lo que de una u otra formar nos colaboraron, he hicieron parte de nuestra formación y que siempre estuvieron presentes.

*“A Dios por permitirme llegar hasta este punto, por darme fuerza y salud para
cumplir mis objetivos y siempre salir adelante,
A mi madre Zoraida Serrano por su apoyo incondicional durante toda mi vida, por
sus concejos, sus valores y por su gran Amor y cariño,
A mi familia y a mi novia por su apoyo, por que siempre estuvieron presentes en todo
momento y por todo su amor,
A los amigos y compañeros que de una u otra forma estuvieron presentes en la
finalización de esta etapa.”*

Oscar Enrique Diaz Serrano

*“A Dios por todas las bendiciones que me da y por ser el motor de mi vida,
A mi madre Yaneth por su apoyo, sus consejos, sus valores, por cultivar en mí el don
de la responsabilidad, pero ante todo por su amor.
A mi padre Gustavo por su ejemplo de dedicación y constancia que lo caracterizan,
por su apoyo incondicional y por su amor.
A ti Estefy por ser mi angelito y guía. Te amo!
A mis hermanitos por su nobleza y cariño.
A ti Carlos por tu tiempo, comprensión, ayuda y confianza en esta etapa de mi vida.
A mis amigos por el gran equipo que formamos en nuestra academia y por los
momentos vividos.”*

Gianina Garrido Silva

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	20
1.1 Nomenclatura.....	21
2. Protocolos y clasificaciones de los instrumentos	22
2.1. Protocolos de comunicación inalámbrica	22
2.1.1. Clasificación de las redes inalámbricas.....	22
2.1.2. Importancia del estándar internacional IEEE 802.11 y sus alcances en la industria	23
2.1.3. Seguridad en las redes inalámbricas y tipos de cifrado	24
2.2. Buses de campo	25
2.2.1. Protocolo Hart	25
2.2.2. Protocolo MODBUS	25
2.2.3. Protocolo TCP/IP	26
2.2.4. Protocolo TCP	26
2.2.5. Protocolo IP	26
2.3. Especificaciones generales de los instrumentos de medición.....	26
2.3.1. Áreas clasificadas	26
2.3.2. Rango.....	27
2.3.3. Temperatura ambiente	28
2.3.4. Temperatura de operación	28
2.3.5. Choques y vibraciones	28
2.3.6. Seguridad intrínseca	28
2.3.7. A prueba de explosiones (Explosion Proof)	28
3. Descripción del pozo y selección de la instrumentación	29
3.1. Cabeza de pozo	29
3.2. Condición e instalación actual del pozo C-67.....	30
3.3. Selección de la instrumentación.....	31

3.3.1.	Presión	31
3.3.2.	Temperatura.....	31
3.3.3.	Caudal.....	32
4.	Proveedores.....	33
4.1.	Características de las tecnologías	33
4.2.	Selección de proveedor.....	38
4.3.	Selección de la instrumentación inalámbrica	39
4.4.	Componentes de la red de transmisión de datos	42
4.4.1.	Transmisores inalámbricos	42
4.4.2.	Antenas inalámbricas	46
4.4.3.	Nodos de la red (Multinodos)	53
4.4.4.	Sistema inalámbrico de puerta de enlace (WSG)	54
4.4.5.	Herramientas de configuración de dispositivos inalámbricos	55
5.	Diseño del sistema de medición de variables	58
5.1.	Descripción de la ubicación de la instrumentación.....	58
5.2.	Funcionamiento de la instrumentación.....	60
5.3.	Configuración de la instrumentación	63
5.3.1.	Configuración de dispositivo multinodo	63
5.3.2.	Configuración de los transmisores inalámbricos.	69
6.	Presentación de la propuesta	73
6.1.	Instrumentación convencional.....	73
6.1.1.	Ventajas de la instrumentación convencional	73
6.1.2.	Desventajas de la instrumentación convencional.....	73
6.1.3.	Cableado y acometidas para la instrumentación convencional.....	74
6.2.	Instrumentación inalámbrica	75
6.2.1.	Ventajas de la instrumentación inalámbrica	75
6.2.2.	Desventajas de la instrumentación inalámbrica	76
6.3.	Relación de costos	77
6.4.	Conclusiones, observaciones y recomendaciones.....	80

Referencias bibliográficas.....	82
Anexos.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cabeza de pozo de C-67	30
Figura 2. P&ID de C-67.....	31
Figura 3. Información del pozo C-67.....	32
Figura 4. Transmisor de presión manométrica STGW94L.....	40
Figura 5. Transmisor de temperatura STTW400	40
Figura 6. Sensor de temperatura omnigrad T TR 25	41
Figura 7. Transmisor de entradas analógicas STIW600.....	41
Figura 8. Radio multinodo.....	41
Figura 9. PDA con puerto infrarrojo	42
Figura 10. Transmisor inalámbrico de entradas analógicas.....	42
Figura 11. Condiciones de operación del STIW600.....	43
Figura 12. Transmisor inalámbrico de presión manométrica.	43
Figura 13. Condiciones de operación del STGW944.....	44
Figura 14. Transmisor inalámbrico de temperatura	44
Figura 15. Condiciones de operación del STTW400.....	45
Figura 16. Cableado de campo de STTW400.....	45
Figura 17. Especificaciones inalámbricas de la serie XYR 6000	46
Figura 18. Antena omnidireccional 2,4ghz 4dbi	47
Figura 19. Patrón de ganancia de la antena de 4dBi	47
Figura 20. Especificaciones técnicas de la antena de 4dBi	48
Figura 21. Antena omnidireccional 2,4ghz 8dbi	48

Figura 22. Patrón de ganancia de la antena de 8dBi	49
Figura 23. Especificaciones técnicas de la antena de 8dBi	49
Figura 24. Antena omnidireccional 2,4ghz 14dbi	50
Figura 25. Patrón de ganancia de la antena de 14dBi	50
Figura 26. Especificaciones eléctricas de la antena de 14dBi	51
Figura 27. Especificaciones mecánicas de la antena de 14dBi	51
Figura 28. Antena sectorial de 120 grados 2,4GHz 20dBi	51
Figura 29. Patrón de ganancia de la antena sectorial de 20 dBi	52
Figura 30. Especificaciones eléctricas de la antena sectorial de 20 dBi	52
Figura 31. Especificaciones mecánicas de la antena sectorial de 20 dBi	52
Figura 32. Multinodo OneWireless XYR 6000.	53
Figura 33. Multinodo OneWireless XYR 6000.	54
Figura 34. Red en malla.....	55
Figura 35. Herramienta Wireless Builder	56
Figura 36. Herramienta Key Server Manager	56
Figura 37. Herramienta Authentication Device en la PDA	57
Figura 38. PDA con puerto infrarrojo	57
Figura 39. Mástil de antenas de internet inalámbrico.....	59
Figura 40. Planta deshidratadora.....	59
Figura 41. Conexión de las baterías	60
Figura 42. Orientaciones comunes de los soportes	61
Figura 43. Posiciones típicas de instalación	61
Figura 44. Esquema del funcionamiento de la instrumentación inalámbrica	63
Figura 45. Diagrama de configuración del radio multinodo.....	63

Figura 46. Login de la página de configuración del multinodo	65
Figura 47. Ventana de configuración general	65
Figura 48. Ventana de configuración del Access Point.....	67
Figura 49. Ventana de configuración del radio Mesh.....	68
Figura 50. Ventana del Wireless Builder	69
Figura 51. Configuración del transmisor	70
Figura 52. Ventana del Wireless Builder.....	70
Figura 53. Configuración del transmisor	71
Figura 54. Cargando con configuraciones.	71
Figura 55. Ventana del Wireless Builder.....	71
Figura 56. Parámetros del dispositivo.....	72
Figura 57. Grafica relación Costo-beneficio	79
Figura 58. Diferencia de costos entre instrumentación inalámbrica y cableada.	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de abreviación	21
Tabla 2. Características de los radios multinodos.	33
Tabla 3. Características de los transmisores de campo.	36
Tabla 4. Costo de la instrumentación.....	38
Tabla 5. Modelos de la tecnología XYR 6000 de Honeywell para las variables de interés	39
Tabla 6. Descripción de los indicadores Leds.....	64
Tabla 7. Relación de costos para un pozo.....	77
Tabla 8. Relación de costos para cinco (5) pozo	78
Tabla 9. Relación de costos para diez (10) pozos.	78

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Plano en 3D.....	84
Anexo B. P&ID de C-67 con instrumentación inalámbrica.....	85

RESUMEN

TITULO:

EVALUACIÓN COSTO-BENEFICIO ENTRE LA IMPLEMENTACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN INALÁMBRICA E INSTRUMENTACIÓN CABLEADA PARA CAMPO ESCUELA COLORADO.*

AUTORES:

GIANINA GARRIDO SILVA

OSCAR ENRIQUE DIAZ SERRANO**

PALABRAS CLAVES:

Instrumentación inalámbrica, multinodo, protocolos de comunicación, radiofrecuencia, Wireless System Gateways.

DESCRIPCIÓN:

La instrumentación inalámbrica sensa variables del proceso de igual manera que lo hacen algunos de los instrumentos actuales, pero con la ventaja que las variables medidas son enviadas vía RF (Radiofrecuencia) eliminando el cableado del instrumento y los costos que con lleva en instalación, obras civiles y mantenimiento de ductos y canaletas para cada instrumento, además que su instalación se realiza de forma mas rápida.

A pesar de las características mencionadas las cuales representan un argumento para la utilización de la tecnología inalámbrica en el entorno industrial, también hay que resaltar que esta tecnología ofrece ventajas frente a la instrumentación convencional que deben ser tenidas en cuenta en su diseño e implementación.

En este documento se describen algunas características y especificaciones técnicas de la instrumentación inalámbrica. Se estudiaran los diferentes fabricantes que proveen esta tecnología y se seleccionara el que tenga un mayor soporte técnico y tecnológico a nivel industrial y se realiza la selección de la instrumentación que cumpla con las especificaciones requeridas para su diseño llevando a cabo la elaboración de la ingeniería de detalle del mismo. Se describen las ventajas y desventajas tanto de la instrumentación convencional como de la instrumentación inalámbrica. Finalmente, se elabora la relación costo beneficio entre ambas tecnologías para la implementación en un pozo de Campo Escuela Colorado.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director MSc. Julio A. Gélvez F. Codirector Msc. Alfredo R. Acevedo Picón.

ABSTRACT

TITLE:

COST-BENEFIT ASSESSMENT BETWEEN THE IMPLEMENTATION OF WIRELESS INSTRUMENTATION AND INSTRUMENTATION WIRED FOR COLORADO SCHOOL FIELD.*

AUTHORS:

GIANINA GARRIDO SILVA

OSCAR ENRIQUE DIAZ SERRANO**

KEYWORDS:

Wireless Instrumentation, multinode, communication protocols, Radio frequency, Wireless System Gateways.

DESCRIPTION:

Wireless instrumentation measured variables of the process in the same way that do some of the existing instruments, but with the advantage that the measured variables are sent by RF (radio frequency) eliminating the wiring of the instrument and the costs with leads in installation, civil works and maintenance of pipelines and channels for each instrument, plus installation is done faster.

Despite the aforementioned characteristics which represent an argument for the use of wireless technology in the industrial environment, it is also worth noting that this technology offers advantages over conventional instrumentation should be taken into account in their design and implementation.

This paper describes features and technical specifications of the wireless instrumentation. Explore the different manufacturers who provide this technology and were selected which have a higher technical and technological support to industrial level and here is the selection of instrumentation that meets the specifications required for carrying out the development of the detail engineering. Describes the advantages and disadvantages of conventional instrumentation as the wireless instrumentation. Finally, developed the relation cost benefit between both technologies for deployment in a Colorado field school well.

* Degree Project.

** Physical-Mechanical Engineering Faculty. Electrical, Electronics and Telecommunications School. Advisor MSc. Julio A. Gélvez F. Co-advisor Msc. Alfredo R. Acevedo Picón.

Introducción

Actualmente ante el crecimiento industrial y todos sus procesos; además del interés por el aumento de la producción de éstos, es necesario llegar al punto de lograr una óptima producción que disminuya los costos y aumente la calidad de los productos. Por esta razón durante los últimos años los avances en la ciencia y la tecnología han logrado que se consolide dentro del campo de la industria una multidisciplina llamada instrumentación y control, la cual poco a poco ha automatizado cada vez más y con más eficiencia los procesos industriales.

A lo largo de los años las industrias han utilizado la instrumentación para la automatización y optimización de los diversos procesos, puesto que esta permite monitorear y controlar las diferentes variables de operación lo que establece la efectividad de dichos procesos.

El desarrollo de nuevas tecnologías para el mejoramiento de los procesos industriales ha enfrentado el reto de unir a la instrumentación industrial con la infraestructura de comunicación disponible, de ahí surge la instrumentación inalámbrica, la cual sensa variables de proceso de igual manera que la instrumentación convencional, pero nos presenta algunas ventajas como lo es la eliminación de cableado ya que las variables medidas son enviadas por radiofrecuencia, por otra parte no necesita de alimentación externa debido a que funciona con baterías lo que hace a esta nueva tecnología más fácil de desplegar en campo y hace posible llevarlo a lugares que antes era imposible o no era económicamente viable.

A pesar de las ventajas sobresalientes de la instrumentación inalámbrica, sigue siendo un sueño lejano el hecho de poder llegar a sustituir todos los cables de instrumentación con tecnología inalámbrica, sin embargo existen muchas situaciones en las cuales una solución inalámbrica es atractiva e incluso una mejor opción para aplicaciones industriales.

Por otra parte, el auge de dispositivos industriales ha generado el crecimiento de la instalación con tecnologías basadas en la generación de ondas de radio en frecuencias correspondientes a la banda libre, las cuales permiten la conexión inalámbrica entre dispositivos, un ejemplo de dichas tecnologías es la denominada tecnología Wireless compuesta por un conjunto de estándares basados en las especificaciones IEEE 802.11 los cuales emplean la técnica FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) con el fin de mejorar la fiabilidad de transmisión por radio y para datos la técnica DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) y a su vez garantizan la seguridad en las redes empleando alternativas como lo son los protocolos de cifrado de datos WPA (Wi-Fi Protected Access), WPA2 (*Wi-Fi Protected Access 2*) y WEP (Wired Equivalent Privacy).

Finalmente, se debe tener en cuenta que la instrumentación inalámbrica sigue siendo una opción viable en la automatización de procesos, no solo por sus ventajas con respecto a la instrumentación convencional sino también por los beneficios que se tienen en el ámbito de la comunicación por radiofrecuencia, aunque aun así es un campo poco explorado por la industria, la instrumentación inalámbrica es la apertura para una automatización económica, segura y óptima para los diferentes procesos industriales.

1.1 Nomenclatura

En la Tabla 1 se presenta la lista de abreviaciones a tener en cuenta durante el desarrollo del trabajo de grado

Tabla 1. Lista de abreviación

Símbolo	Nombre
AP	Access Point
DVD	Digital Video Disk
PDA	Personal Digital Assistant
SSID	Service Set Identifier
SNMP	Simple Network Management Protocol
USB	Universal Serial Bus
WAN	Wide Área Network
WFN	Wireless Field Network
WSG	Wireless System Gateway
FHSS	Frecuency Hopping Spread Spectrum
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
WAP	Wi-Fi Protected Access
WEP	Wired Equivalent Privacy
WSG	Wireless System Gateway
I/O	In/Out – Entrada/Salida
WPAN	Wireless Personal Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Access Network
MAC	Media Access Code
HART	Highway Addressable Remote Transducer
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
RF	Radio frequency
RTD	Resistance Temperature Detector
T/C	Thermocouple
%RH	% Relative Humidity

2. Protocolos y clasificaciones de los instrumentos

El término “Wireless”, en castellano “Inalámbrico”, se refiere a la tecnología de telecomunicaciones donde se utilizan ondas de radio, infrarrojos, microondas o similares, en lugar de cables o hilos, para llevar una señal y conectar dispositivos de comunicación. Se pueden destacar varios ejemplos como los son buscapersonas, teléfonos celulares, PC portátiles, redes de computadores, localización GPS y sistemas de satélites. La tecnología inalámbrica está evolucionando rápidamente y su importancia está aumentando en la vida cotidiana.

2.1. Protocolos de comunicación inalámbrica

La transmisión de datos por señal de radio se ve inmersa en un problema muy común en las comunicaciones como lo es la interferencia. Las frecuencias de transmisión libres para redes sin licencias son las más susceptibles a interferencias y además las que nadie quiere comercialmente. Por ejemplo, la banda de transmisión de 2,4 GHz es susceptible a interferencias de aparatos microondas, nieve o agua, árboles, etc. mientras que la banda de 900 MHz lo es ante la interferencia de equipos médicos, teléfonos, entre otros. Para mejorar la fiabilidad de transmisión por radio con el fin de obtener inmunidad a las interferencias en la misma banda y a su vez mejorar la calidad sobre las distancias, se emplea una técnica conocida como “Spread Spectrum”, la cual consiste en cambiar la frecuencia de transmisión en periodos predefinidos, de tal manera que solamente un receptor especial pueda conocer de antemano la secuencia de saltos para seguir la transmisión. Actualmente, se utiliza la técnica FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) la cual se basa en algoritmos complejos para eludir señales de bloqueo. En cuanto respecta a la transmisión de datos, se emplea una técnica llamada DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) la cual concentra la señal requerida y filtra a su vez las señales de interferencia

2.1.1. Clasificación de las redes inalámbricas

A continuación se presentan los diferentes tipos de clasificaciones de redes inalámbricas más utilizados en la industria.

2.1.1.1. WPAN: Red Inalámbrica de área Personal de ámbito local. Este tipo de redes enfoca sus sistemas de comunicación a un área máxima de 10 m entre dispositivos. Son empleadas para conectar varios dispositivos portátiles sin la necesidad de utilizar cables. Las tecnologías más comunes desarrolladas en WPAN son Infrarrojos y Bluetooth (IEEE 802.15). Debido a que su sistema de comunicación es punto a punto no requiere de altos índices de transmisión de datos, por lo cual se puede obtener como resultado un bajo consumo de energía y por ende hace esta tecnología adecuada para el uso con dispositivos móviles pequeños que funcionan con baterías, por ejemplo, celulares o cámaras digitales.

2.1.1.2. WLAN: Red Inalámbrica de Área Local. Red que cubre distancias entre 10 y 100 metros, debido a su limitada cobertura desarrolla una menor potencia de transmisión que a

menudo permite el empleo de bandas de frecuencia sin licencia como es el caso de la banda de 2,4GHz. La tecnología empleada para WLAN es el WiFi (Fidelidad Inalámbrica – IEEE 802.11). Esta red no obliga el empleo de un punto de acceso, aunque es necesario cuando se conecta a la red principal o Internet. Los dispositivos que emplean WLAN tienen una plataforma más robusta y abastecimiento de potencia. Un ejemplo industrial es la conexión de procesadores E/S a PLCs, la adquisición de sensores inalámbricos y la conexión de portátiles.

2.1.1.3. WMAN: Red Inalámbrica de Área Metropolitana o también conocida como Bucle Local Inalámbrico. Es definida como la suma de muchas redes de área local interconectadas. La tecnología empleada para WMAN es el WiMax (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas-IEEE 802.16). Cubre una distancia máxima de 50 Km. Su aplicación industrial está basada en la conexión a servicios de infraestructura, señalización de tránsito y distribución de agua, gas y luz.

2.1.1.4. WWAN: Red de área Amplia Inalámbrica. Este tipo de redes suelen ser proporcionadas y mantenidas por proveedores específicos de telefonía móvil, además es catalogada como una red digital móvil de alta velocidad que proporciona acceso a Internet en una amplia área geográfica. Las tecnologías empleadas para la red WWAN son GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles), GPRS (Servicio General de Paquetes Vía Radio) y UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles). Para tener acceso a una red de banda ancha móvil un ordenador debe encontrarse en una zona la cual disponga una cobertura móvil para datos. Las aplicaciones industriales de esta tecnología son la recopilación de datos de centros de producción y la conexión de instalaciones remotas.

2.1.2. Importancia del estándar internacional IEEE 802.11 y sus alcances en la industria

El estándar internacional IEEE 802.11 es una norma la cual define las características de una Red de Área Local Inalámbrica (WLAN) sobre la banda más habitual, 2,4GHz, con la cual se hace una transferencia vía radiotelefónica de datos entre computadores y otros periféricos conectados. Por otra parte, esta norma ofrece velocidades de 1 a 2 Mbps y la funcionalidad de las tecnologías de modulación FHSS y DSSS. Esta norma define el protocolo para dos tipos de redes. Una red simple en la cual se establecen comunicaciones entre las múltiples estaciones en un área de cobertura dada sin el uso de un punto de acceso o servidor y una red cliente servidor.

- **Protocolo 802.11a:** Define los estándares y las normas de multiplexación de comunicaciones inalámbricas, permitiendo velocidades máximas de hasta 54 Mbps trabajando en la banda de 5GHz. Tiene la ventaja de eliminar el problema de las interferencias múltiples que se generan en la banda de los 2,4 GHz como lo son teléfonos digitales DECT, BlueTooth y hornos microondas.
- **Protocolo 802.11b:** Define los estándares relacionados con WiFi utilizando la tecnología de comunicación DSSS. Este estándar describe una interfaz inalámbrica en la banda de 2,4 GHz y ofrece una velocidad de comunicación de datos máxima de 11 Mbps para uso privado.

- **Protocolo 802.11g:** Define los estándares de comunicación inalámbrica para WLAN soportando velocidades de hasta 54Mbps en la banda de los 2,4 GHz.

Los anteriores estándares son los más utilizados en el campo de las comunicaciones, aunque ya en operación, aun bajo definición de interoperabilidad se encuentran los siguientes:

- **Protocolo 802.11n:** Trabaja en dos bandas de frecuencia 2,4 GHz (al igual que 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (al igual que 802.11a). Opera a una velocidad de 108 Mbps sobre WLANS.
- **Protocolo 802.11i:** Está diseñada para trabajar en la seguridad de los protocolos de autenticación y codificación.
- **Protocolo 802.11e:** Estándar inalámbrico el cual permite interoperar en entornos domésticos y empresariales, soportando tráfico en tiempo real en todo tipo de entornos.
- **Protocolo 802.16:** Estándar conocido como WiMAX, cuya velocidad es de 70 Mbps sobre distancias de 50Km [15].

2.1.3. Seguridad en las redes inalámbricas y tipos de cifrado

Con el uso de tecnología no propietaria, como lo es el estándar 802.11, la funcionalidad de encriptación de datos, protocolos de autenticación de servidores, cortafuegos y redes privadas virtuales son cada vez más importantes. La seguridad de IEEE 802.11 consta de dos partes, el cifrado y la autenticación. El cifrado se utiliza para codificar, los datos de las tramas inalámbricas antes de ser enviados a la red inalámbrica. Con la autenticación se requiere que los clientes inalámbricos se certifiquen antes que se les permita unirse a la red inalámbrica.

A continuación se describen los tipos de cifrados para su uso con las redes 802.11:

2.1.3.1. WEP: (Wired Equivalent Privacy) es un mecanismo de cifrado de datos empleado por el protocolo WiFi, el cual se utiliza para evitar que las señales de radiofrecuencia puedan ser interceptadas por usuarios no autorizados. Depende de la configuración de claves en todos los equipos que quieran comunicar en red inalámbrica y emplea el algoritmo de encriptación RC4. La clave WEP debe estar configurada en el punto de acceso inalámbrico y en todos los clientes inalámbricos.

2.1.3.2. SSID: (Service Set Identifier) es el nombre de la red WiFi el cual crea el punto de acceso. Emplea un código el cual consiste en un máximo de 32 caracteres alfanuméricos. Además, ofrece claves para la separación de una red LAN en subredes, en donde permite o bloquea conexiones si es combinada con la configuración de los puntos de acceso.

2.1.3.3. Filtración MAC: (Media Access Code) Mac es una dirección física de una tarjeta de red, en donde emulando la funcionalidad de Ethernet TCP/IP, cada dato viene etiquetado con un identificador único del dispositivo inalámbrico y es filtrado en los puntos de acceso [16].

2.2. Buses de campo

Los buses de campo se definen como un sistema de transmisión de información de datos que emplea tecnologías de comunicación y protocolos con el fin de permitir la integración de equipos para la medición y control de variables de procesos. El bus de campo se encarga de simplificar la instalación y operación de máquinas y equipos industriales utilizados en los procesos de producción, esto lo hace a través de la sustitución de las conexiones punto a punto entre el equipo de control y los instrumentos de campo mediante el lazo de corriente de 4-20 mA DC. Los buses de campo orientados a la conexión y de acceso al medio determinístico tienen una ventaja notable, puesto que permiten un ahorro en los costos de instalación, mantenimiento y aquellos derivados en la mejora del funcionamiento del sistema.

En el área de control y automatización los buses de campo que tienen mayor presencia (acogida) son los protocolos HART, MODBUS y protocolos más avanzados como TCP/IP.

2.2.1. Protocolo Hart

(Highway Addressable Remote Transducer) emplea una modulación por desplazamiento de frecuencia FSK con el fin de empalmar la información digital sobre la señal analógica de 4-20mA, dicha señal digital utiliza dos frecuencias individuales de 1200 y 2200 Hz, las cuales representan los dígitos 0 y 1 y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20mA para con esto conectar el instrumento de campo con el sistema de control. Por otra parte se comunica a 1200 bps sin interrumpir la señal de 4-20mA, lo cual genera en la aplicación central la obtención de dos o más actualizaciones digitales por segundo de un dispositivo de campo. Este protocolo desempeña una funcionalidad importante, debido a que la información digital se comunica al mismo tiempo con la señal de 4-20mA.

El protocolo Hart permite aumentar la disponibilidad de la planta detectando problemas de conexión de dispositivos en procesos en tiempo real, disminuyendo el elevado costo de interrupciones de procesos no programados e integrando dispositivos para la localización de problemas no detectables; Por otra parte ayuda a reducir los costos de mantenimiento con el empleo de un diagnóstico remoto con el fin de reducir pruebas de campo innecesarias.

2.2.2. Protocolo MODBUS

Utiliza una estructura lógica de tipo maestro/esclavo¹, con un maestro y un máximo de estaciones de 63 esclavos, su comunicación es asíncrona² y su velocidad de transmisión estandarizada es de 75 a 19200 baudios; la máxima distancia entre estaciones llega hasta los 1200m con la ventaja de no necesitar repetidores. Actualmente, es considerado un protocolo de comunicación estándar a nivel industrial debido a que cuenta con una mayor disponibilidad en la conexión de dispositivos, es público y de fácil implementación lo que permite el control de una red de dispositivos y la comunicación de resultados a un computador personal.

¹ Maestro/esclavo, se refiere a una relación donde un simple nodo ("maestro") inicia y controla una sesión con uno o más dispositivos ("esclavos").

² es aquella en que el transmisor y el receptor no necesitan coordinarse para transmitir los datos. Es útil para fuentes que transmiten datos ocasionalmente.

2.2.3. Protocolo TCP/IP

Es un protocolo de conexión de redes el cual fue diseñado con el fin de proporcionar un servicio de acceso remoto, transferir ficheros, asignar rutas y gestionar caídas en la red, Además cuenta con una serie de características como el ser un protocolo abierto con un desarrollo independiente del hardware del ordenador o del sistema operativo que a su vez funciona sobre cualquier medio, ya sea red Ethernet, fibra óptica o conexión ADSL³, asignando a cada equipo una única dirección en toda la red mediante un esquema de direccionamiento. Su objetivo principal es conectar ordenadores (PCs, mini y mainframes) que empleen sistemas operativos diferentes sobre redes de área local y área extensa con el fin de conectar equipos distantes geográficamente.

2.2.4. Protocolo TCP

Se encarga de verificar que la entrega de datos entre cliente-servidor y servidor-cliente sea correcta; posee un soporte el cual detecta errores o pérdida de datos. Dentro de este protocolo existen una serie de subprotocolos los cuales manejan datos como son: UDP⁴, ICMP⁵, DHCP⁶ e IP.

2.2.5. Protocolo IP

Es un protocolo no orientado a conexión y es considerado no fiable, puesto que al encaminar los paquetes de datos por la red se podrían perder cuando se produzca un error en la transmisión de los mismos. Tiene como características permitir el transporte de información entre redes y la fragmentación de datos.

2.3. Especificaciones generales de los instrumentos de medición

Los instrumentos de medición deben especificarse con el propósito de asegurar la óptima operación del proceso y de garantizar una estimación de sus costos. Las especificaciones a tener en cuenta son:

2.3.1. Áreas clasificadas

Existen en el ambiente de materiales combustibles los cuales al ser sometidos a determinadas temperaturas ocasionan alguna explosión y/o incendio, se definen especificando tres características: Clase (I, II, o III), División (1 o 2) y Grupo (A, B, C, D, E, F o G).

³ ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea de Abonado Digital Asimétrica) tecnología de banda ancha la cual implica que el ordenador reciba datos a una mayor velocidad, todo ello mediante una línea de teléfono a través de la modulación de la señal de datos empleada por el ordenador.

⁴ UDP, User Datagram Protocol. Protocolo encargado de la comunicación de datos de extremo a extremo, en donde envía los datos y comprueba que el host de destino recibe esos datos.

⁵ ICMP, Internet Control Message Protocol. Subprotocolo empleado en el diagnóstico y notificación de errores y en el transporte de mensajes de control.

⁶ DHCP, *Dynamic Host Configuration Protocol*. Protocolo el cual emplea un equipo servidor para administrar las direcciones IP y detalles de configuración de red, con el fin de reducir la complejidad en la administración de direcciones.

La Clase: hace referencia a la naturaleza del material inflamable y se divide en:

- Clase I: presencia de gases o vapores inflamables mezclados en el aire en cantidades suficientes para generar una explosión o ignición.
- Clase II: presencia de polvos combustibles en cantidades suficientes para producir una explosión o ignición.
- Clase III: presencia de fibras o partículas volátiles.

La división: hace referencia a la frecuencia y extensión con las que las muestras inflamables estarán presentes y se dividen en:

- División 1: Área en donde las concentraciones inflamables de gases, vapores o líquidos pueden estar presentes en condiciones normales de operación.
- División 2: Áreas que pueden ser peligrosas bajo condiciones accidentales.

Los Grupos: definen la naturaleza de la sustancia peligrosa, con el fin de elaborar pruebas, aprobación y clasificación de áreas en el que se caracterizan un grupo de mezclas según la designación y se dividen en:

- Gases y vapores:
 - ✓ Grupo A: Acetileno.
 - ✓ Grupo B: Hidrógeno, butadieno, óxido de etileno, entre otros.
 - ✓ Grupo C: Etileno, acetaldehído, monóxido de carbono, dietil éter, entre otros.
 - ✓ Grupo D: Gasolina, propano, butano, metano (gas natural), acetona, amoníaco, entre otros. Este es el grupo más numeroso.
- Polvos combustibles:
 - ✓ Grupo E: Polvos metálicos como aluminio libre de Cobre y Magnesio.
 - ✓ Grupo F: Polvo carbón, coque y similares.
 - ✓ Grupo G: Harinas, almidones o polvos de granos⁷.

2.3.2. Rango

Valores de la variable a medir comprendidos entre los límites superior e inferior de la capacidad de transmisión del instrumento.

⁷ http://www.excel.net.ve/Cat_espanol.pdf

2.3.3. Temperatura ambiente

Temperatura del medio circundante en el ambiente en la cual es instalado un equipo, ya sea en el interior o exterior de un recinto.

2.3.4. Temperatura de operación

Máxima temperatura del equipo en condiciones normales de operación.

2.3.5. Choques y vibraciones

Una vibración es un movimiento oscilante que experimenta una partícula en torno a una posición de equilibrio estable, representa un factor de gran alcance en la calidad del trabajo que se realiza con instrumentos industriales, debido a los diversos desgastes, daños, movimientos, fatigas⁸ y ruidos molestos en los materiales. En la actualidad se hace un análisis dinámico de las vibraciones en instalaciones y máquinas industriales cada vez más exacto por el incremento en la potencia de las máquinas, la disminución de gastos en materiales y la exigencia en la productividad y calidad industrial.

Las condiciones de vibración y choque mecánico afectan a equipos o componentes a lo largo de su vida útil, durante su funcionamiento, transporte y en aquellos que forman parte de instalaciones fijas cerca de maquinarias o vehículos rodantes los cuales perturban directamente su integridad estructural y fiabilidad.

2.3.6. Seguridad intrínseca

Técnica de diseño de protección utilizada en equipos y cables eléctricos en ambientes potencialmente explosivos, se fundamenta en limitar la energía eléctrica y térmica con el fin de no exceder el límite de ignición de materiales inflamables y es aplicada en sistemas de control, medición e integración.

2.3.7. A prueba de explosiones (Explosion Proof)

Armadura capaz de resistir una explosión de un vapor o gas específico que se generara alrededor del instrumento, ayuda a prevenir la ignición de dicho gas o vapor provocado por chispas, destellos o explosión dentro de la armadura.

⁸ La fatiga en los materiales consiste en el desgaste y posterior ruptura de los mismos.

3.Descripción del pozo y selección de la instrumentación

Monitorear y controlar las condiciones de operación de cualquier proceso es fundamental para lograr un funcionamiento eficiente y óptimo, por esta razón, es de gran importancia contar con la información necesaria en el menor tiempo posible para así realizar los ajustes adecuados para mejorar la operación. En Campo Escuela Colorado no se tiene un sistema de monitoreo y control para la automatización de los procesos de producción, esta falta de herramientas para la mejora de los procesos puede ocasionar que no se tenga los datos de producción y de operación actualizados y que a su vez se gaste más tiempo de lo necesario en la recolección de dicha información, por lo que pueden representar pérdidas, mal funcionamiento de los procesos, aumento de los costos e inclusive riesgos de accidentes.

Al analizar la estructura se detectan posibles riesgos mediante los procesos por carencia de herramientas, se plantea el diseño de un sistema de monitoreo de variables de proceso utilizando instrumentación inalámbrica y presentar una comparación de costo-beneficio contra la instrumentación convencional, para este diseño se utilizará el pozo colorado 67 (C-67) por sus características especiales, se desea llevar cabo la selección de la instrumentación y la tecnología que cumpla con los requisitos necesarios como lo son monitoreo continuo y eficiente de variables de proceso (temperatura, presión, caudal), cobertura del campo, soporte de protocolos de comunicación (Hart, 4-20 mA, Modbus, TCP/IP, entre otros) utilizados en campo para la transmisión de variables y una red de comunicación confiable para la transmisión y recepción de datos.

3.1. Cabeza de pozo

El sistema de producción de colorado 67 está compuesto por la cabeza de pozo, que es el ensamble superior del tubing y el casing, además es allí donde se sella el espacio anular y las diferentes tuberías de dos pulgadas que salen del cabezal, algunas encargadas de transportar el gas que fluye desde el espacio anular, otra conectada a tubing que transporta el crudo extraído del fondo y otras disponibles para la ejecución de pruebas. Dentro de las facilidades instaladas en el cabezal se hallan también juegos de válvulas encargadas de mantener la dirección del flujo como válvulas de check y válvulas de bola disponibles para la realización de pruebas como se puede observar en la Figura 1.

El fluido que sale de los pozos está conformado de diferentes materiales, los más comunes son: crudo, gas, agua y arenas, la cantidad y contenido de cada uno de ellos depende de la naturaleza del yacimiento.

Como se mencionó anteriormente monitorear las condiciones de operación de cualquier proceso es fundamental para lograr un funcionamiento eficiente y óptimo, por consiguiente es importante tener un registro de la presión en cabeza de pozo, puesto que permite analizar variaciones abruptas en el pozo, variaciones que podrían causar daños a la unidad. En el caso de la temperatura es una variable que determina las propiedades del flujo y podría ocasionar

problemas de parafinas o corrosión de la tubería bajo ciertas condiciones. Finalmente la medición de caudal es la que permite saber la cantidad de producción del pozo, es por esta razón que se instalaran una serie de instrumentos en el arreglo de tuberías de cabeza de pozo que nos provea de la información requerida para su correcto monitoreo y funcionamiento.

3.2. Condición e instalación actual del pozo C-67

Actualmente el pozo C-67 esta en funcionamiento y es uno de los pozos con mayor producción en campo colorado, con una producción promedio de 64 barriles diarios de crudo, 0,2 barriles diarios de agua y con una producción de gas muy pequeña como se puede ver en la Figura 3, dando una producción eficiente del 92,8% del fluido, en la Figura 1 se puede ver la instalación actual en cabeza de pozo del C-67, en ella se distingue el cabezal en la parte inferior y también un conjunto de tuberías y válvulas encargadas de transportar el crudo y un sistema para la prevención de formación de parafinas y en la Figura 2 se puede observar el plano P&ID del cabezal de C-67.



Figura 1. Cabeza de pozo de C-67. Fuente: Autores

Para la caracterización del estado y dinámica del pozo se hace una medición de presión en el tubing y en el anular, además de pruebas para determinar la carga que soporta la sarta de varillas y el nivel de fluido para prevenir daños en el sistema de producción (dinagrama y echometer), también se hace una medición de temperatura para prevenir corrosiones en la tubería, la formación de parafinas y el patrón del flujo y finalmente la medición de caudal ya que permite saber la cantidad de producción del pozo.

Actualmente el pozo no tiene instrumentos para medir temperatura ni caudal, por lo cual se recomienda realizar una futura implementación de instrumentación para medir estas variables en cabeza de pozo, debido a que es de suma importancia medir todas las variables que caracterizan el pozo para tener un mejor monitoreo y control del mismo y así prevenir problemas que afecten su funcionamiento y producción.

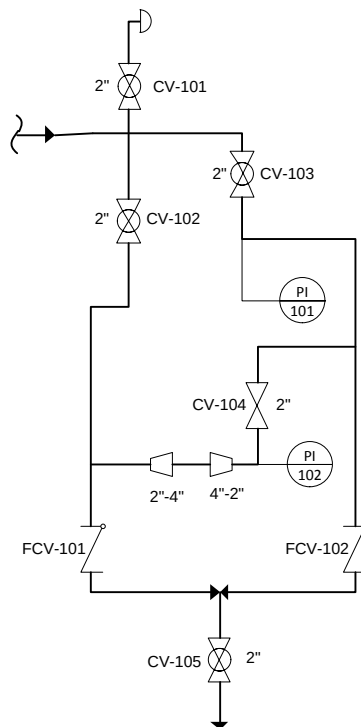


Figura 2. P&ID de C-67. Fuente: Autores

3.3. Selección de la instrumentación

A continuación se hace la selección de la instrumentación adecuada para la medición de presión y temperatura del fluido.

3.3.1. Presión

Según los registro de colorado 67 la presión máxima es de unos 60 psi, una presión mínima de unos 20 psi y una presión promedio de 35 psi como se puede observar en la Figura 3. Basándose en esa información los transmisores de presión deben tener un rango de presión mínimo de 0 a 100 psi.

3.3.2. Temperatura

Para la selección del transmisor de temperatura se tendrá en cuenta que sea resistente a medios corrosivos, ya que la tubería en la cual se va a instalar es de un diámetro de 50,8 mm, la inserción del instrumento debe estar entre 25 y 30 mm, también se deberá tener en cuenta que la temperatura que se tiene en el fluido puede llegar a alcanzar los 90°C.

3.3.3. Caudal

Para la medición de caudal se elegirá el sistema ALTUS NOC⁹ del método “Sistema de Medición Multifásico Accuflow¹⁰” presentado y analizado en el numeral 3.3 del proyecto de grado “SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACION DE UN POZO EN CAMPO ESCUELA COLORADO: VARIABLES EN CABEZA DE POZO”, se ha elegido este método debido a que es un sistema automatizado, ágil y confiable y la selección de instrumentación se puede hacer sin restricciones de tecnología. Sin embargo se debe tener en cuenta que el cliente final será quien elija el método que más se adecue a sus necesidades.

The screenshot shows the TWM software interface for well C-67. The window title is "TWM - Campo Colorado : C-67 <Shot Trace> acq-[01/17/12 08:39:07] Acoustic Test". The interface includes a menu bar (File, Mode, Option, Tools, Help) and a left sidebar with buttons for "Acquire Mode", "Recall Mode", "F2 Data Files", "F3 Select Test", and "F4 Analyze". The main area is divided into several sections:

- Production:** A table showing Current and Potential values for Oil, Water, and Gas.

	Current	Potential	Units
Oil	64	69.0	BBL/D
Water	0.2	0.2	BBL/D
Gas		0.0	Mscf/D
- IPR Method:** Set to "Vogel".
- PBHP/SBHP:** 0.20
- Producing Efficiency:** 92.8 %
- Fluid Densities:** Oil 40 deg.API, Water 1.05 Sp.Gr.H2O, Gas Gravity 0.85 Air = 1.
- Acoustic Velocity:** 1127.26 ft/s
- Casing Pressure:** 35.0 psi (g)
- Casing Pressure Buildup:** 3.1 psi, 2.25 min
- Gas/Liquid Interface Pres.:** 37.5 psi (g)
- Liquid Level Depth:** MD 1681.88 ft
- Pump Intake Depth:** MD 3452.75 ft, TVD 3452.75 ft
- Formation Depth:** MD 3452.00 ft
- Pump Submergence:** Total Gaseous Liquid Column HT (TVD) 1771 ft, Equivalent Gas Free Liquid HT (TVD) 562 ft
- Well State:** Producing
- Annular Gas Flow:** 33 Mscf/D
- % Liquid:** 32
- Pump Intake Pressure:** 229.3 psi (g)
- PBHP:** 229.0 psi (g)
- Reservoir Pressure (SBHP):** 1200.0 psi (g)

At the bottom, there is a "Comment" field with the text "Acoustic Test" and navigation buttons "< Pg Up" and "Pg Dwn >".

Figura 3. Información del pozo C-67. Fuentes: Campo Escuela Colorado.

⁹ Para mayor información sobre el sistema ALTUS NOC leer el documento ALTUS Net Oil Computer Manual, Micro Motion de FISHER-ROSEMOUNT.

¹⁰ Para mayor información sobre el método “Sistema de Medición Multifásico Accuflow” remitirse al punto 3.3 del proyecto de grado “SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACION DE UN POZO EN CAMPO ESCUELA COLORADO: VARIABLES EN CABEZA DE POZO”

4. Proveedores

Actualmente en la industria de la instrumentación inalámbrica hay tres proveedores que cumplen con los requisitos necesarios para realizar el diseño, Rosemount, Schneider y Honeywell; estos fabricantes de tecnología industrial cuentan con un equipo completo y organizado de instrumentación inalámbrica, estas tres tecnologías cuentan con radios Multinodo, transmisores de campo, software para la configuración y soporte técnico de los instrumentos y protocolos de campo compatibles con los utilizados en la industria como lo son Hart, Modbus, 4-20 mA, TCP/IP entre otros.

4.1. Características de las tecnologías

A continuación se mostraran las características de cada tecnología para hacer una comparación entre ellas y así determinar cuál de estas es la más adecuada para realizar el diseño piloto. En la Tabla 2 se podrán ver las características principales de los radios multinodos de cada tecnología así como las características mínimas de los equipos de cómputo para el funcionamiento correcto de los diferentes programas, y en la Tabla 3 se podrá observar las propiedades más importantes de los transmisores de campo.

Tabla 2. Características de los radios multinodos.

Características	Rosemount	Schneider	Honeywell
Áreas clasificadas	Clase I, División 2 (EE. UU.)	Clase I, División. 2, Grupos A, B, C, & D, T4	Clase I División 2/ATEX Zona 2
Protocolos	HART - IEC 61158, WirelessHART– IEC/PAS 62591Ed.1, EDDL - IEC 61804-3, Radio y MAC – IEEE 802.15.4(TM)-2006 IEC/PAS	• Protocolos Serial: Modbus RTU, Modbus ASCII, DNP3 and DF1. • Protocolos Ethernet: Modbus TCP, Modbus RTU in UDP, Modbus ASCII in UDP, DNP in TCP, DNP in UDP • Protocolos de Red: IP, ARP, TCP, TFTP, UDP and ICMP	IEEE 802.11a, IEEE 802.11b/g, IEEE 802.3, IEEE 802.1Q, IEEE 802.1D, Modbus TCP, OPC, HART, ISA100.11a, Bifásico Mark (BPM).
Requerimientos del sistema	Procesador Pentium: 500 MHz o más rápido. Sistema operativo: Microsoft Windows 2000 (32 bits), Windows XP Professional (32 bits) o Windows 7 (32 bits). 256 MB de RAM. 100 MB de espacio disponible en disco duro. Puerto serial RS232 ó puerto USB (para usarse con un módem HART).	PC con 300 MHz o velocidad superior de reloj recomendado; familia Pentium/Celeron o AMD K6/Athlon/Duron o procesador compatible. Sistema operativo Microsoft® Windows® 2000 o XP. 256 MB de RAM o superior. 30 MB de espacio disponible en disco duro, 10 GB, si la base de datos	Pentium 4, procesador de 2,4 GHz, 1 GB de memoria RAM, 40 GB de disco duro se recomienda con al menos 10 GB de espacio libre. Ethernet con capacidad de acceso de red por cable para configuración inicial del dispositivo multinodo. Unidad de DVD. Sistema operativo Windows XP con Service

	CD-ROM.	se instala en el PC local. Puerto serial RS-485 o RS_232. Unidad de CD_ROM o DVD. Conectividad de red de internet recomendada para las actualizaciones de software vía FTP.	Pack 2 en inglés. Microsoft. Net Framework 1.1 Windows Installer 3.1.
Alimentación	19,2 – 28,8 VCC	9-38 VDC con salida mínima de 0,5 A.	24 VDC +/- 10% at 15 Watts
Características Ambientales del radio	Carcasa en aluminio con bajo contenido de cobre, NEMA 4x. Pintura de poliuretano. Empaquetadura o sello de la cubierta de goma de silicona. Antena integrada: PBT/PC Antena remota: Fibra de vidrio	Caja con esmalte al horno, a prueba de explosión, intemperie y resistencia a la corrosión	IP66 ¹¹
Operación ambiental	Rango de temperatura operativa: -40 a 70 °C (-40 a 158 °F) Rango de humedad de funcionamiento: 10-90% de humedad relativa	Temperatura: -40 a +185°F (-40 a +85°C).	Temperatura: -40 a +75°C. Humedad: 0~100% sin condensar. Corrosión: G3 clasificación de Resistencia a la corrosión dentro del estándar ISA 71.04-198. Grado de protección para inalámbricos equivalente al tipo NEMA 4X
Banda de frecuencias y los canales de operación	Radios con la norma IEEE 802.15.4 Banda ISM de 2,4 GHz dividida en 15 canales de radio	• 902MHz – 928MHz band (FCC/IC) • 915MHz – 869MHz (Europa) • Arriba de 3000ft (~1000m) rango típico con obstrucción. • El rechazo de canal adyacente: 48dBc • El rechazo de canal alternativo: 62Db	• ISA100.11a (DSSS) 2,4GHz • 2,412 - 2,462 GHz 60 canales para FHSS 15 canales para DSSS • 802.11a, 5.8GHz 5,725 – 5,850 GHz 16 canales • 802.11b/g 2,4GHz 2,412 - 2,462 GHz 11 canales (tres canales no superpuestos).

¹¹ Características IP66

- Protección completa contra el polvo, el aceite y otro material no corrosivo.
- Completa protección contra el contacto con el equipo cerrado, y contra impactos de 20.0 joules
- Protección contra el agua, incluso de potentes chorros de agua.
- Equivalente a la clasificación de seguridad NEMA 4 y 4X.

Choque de funcionamiento y vibraciones	Menos de $\pm 0,1\%$ de URL cuando se comprueba por los requisitos IEC60770-1 en campo o en tuberías con alto nivel de vibración (10-60 Hz 0,21 mm de desplazamiento de amplitud pico/60-200 Hz, 3G).	Certificado IEC 60068-2-6 (vibración) y 2-27(choques)	4G ¹²
RF características	Potencia de salida de radiofrecuencia de la antena: Máximo de 10 mW (10 dBm) EIRP Máximo de 40 mW (16 dBm) EIRP en la opción de alta ganancia de WN2	Potencia de transmisión: +13dBm Sensibilidad de recepción: -113dBm	- DSSS: 19dBm 802.11b: +24,5dBm a 1,2, 5,5, and 11Mbps 802.11g: +24,5dBm a 6, 9, 12, 18Mbps +23,5dBm a 36Mbps +22dBm a 48Mbps +21dBm a 54Mbps 802.11a: +22,5dBm a 6, 9, 12, 18Mbps +21,5dBm a 36Mbps +19dBm a 48Mbps +18dBm a 54Mbps
Sensibilidad de recepción	Dato no suministrado por el cliente	-113dBm	- DSSS(2,4 GHz): -95 dBm@250 kbps 802.11a: -91 dB@6 Mbps, -90 dB@9 Mbps, -90@12 Mbps, -88 dB@18 Mbps, -85 dB@24 Mbps, -82 dB@36 Mbps, -76 dB@48 Mbps, -72 dB@54 Mbps 802.11b: -97 dB@1 Mbps, -93 dB@2 Mbps, -92 dB@5.5 Mbps, -88 dB@11 Mbps 802.11g: -91 dB@6 Mbps, -90 dB@9 Mbps, -89@12 Mbps, -87 dB@18 Mbps, -84 dB@24 Mbps, -80 dB@36 Mbps, -76 dB@48 Mbps, -74 dB@54 Mbps
Máximo número de dispositivos en campo	Velocidades de actualización de dispositivos compatibles. 100 dispositivos	Un máximo de 100 dispositivos.	20 dispositivos para actualizaciones de 1 segundo 80 dispositivos

¹² Aceleración que se define como la proporción de cambio en la velocidad y en el sistema inglés se mide en unidades **G**, o sea la aceleración promedio debida a la gravedad en la superficie de la tierra.

	- inalámbricos a 8 s. • 50 dispositivos inalámbricos a 4 s. • 25 dispositivos inalámbricos a 2 s. • 12 dispositivos inalámbricos a 1 s.		para actualizaciones mayores a 5 segundos
--	--	--	---

Tabla 3. Características de los transmisores de campo.

Características	Rosemount	Schneider	Honeywell
Operación ambiental	Limites de temperatura ambiente: –40 a 185 °F (–40 a 85 °C) Con pantalla LCD: –40 a 175 °F (–40 a 80 °C) Con opción de código P0: –20 a 185 °F (–29 a 85 °C) Limites de Humedad: 0–100% humedad relativa	–40°C a +121°C (–40°F a +250°F), Temperatura de proceso en estado estacionario. –40°C a +110°C (–40°F a +230°F) sensor de temperatura ambiente. –40°C a +85°C (–40°F a +185°F) Electrónica. –20°C a +70°C (–4°F a +158°F) pantalla (visibilidad completa) • –40°C a +85°C (–40°F a +185°F) pantalla (con visibilidad reducida) • Humedad: 0 a 95%, no condensada.	Rango de Temperatura ambiente: –40 to 185 °C Rango de humedad de funcionamiento: 0-100% de humedad relativa Temperatura ambiente Rango de visibilidad del pantalla LCD: Medidor de temperatura de cuerpo: –40 a 125 °C (–40 to 257°F)
Choque de funcionamiento y vibraciones	Menos de ±0,1% de URL cuando se comprueba por los requisitos IEC60770-1 en campo o en tuberías con alto nivel de vibración (10-60 Hz 0,21 mm de desplazamiento de amplitud pico/60-200 Hz, 3G).	Certificado IEC 60068-2-6 (vibración) y 2-27 (Choques)	Máxima vibración de 4G más 15 a 200Hz. Máximo choque de 4G
Alimentación	Batería de litio de 7,2 V, hasta 10 años de vida útil.	• Energía autónoma • Una celda tipo 'C'. • Hasta diez años de vida útil de la batería (depende de la frecuencia de muestreo y la tasa de actualización de RF).	• Línea: 24 Vdc • Dos Baterías de 3,6 V Lithium thionyl chloride size D, con hasta 10 años de vida útil.
Wireless Communication	IEC-62591 (WirelessHART),	902MHz - 928MHz band (FCC/IC)	2,400 a 2,483.5 MHz (2,4 GHz) Industrial, científica, medica (ISM) band FHSS, DSSS (por FCC 15.247 /

	2,4 GHz DSSS		IEEE 802.15.4-2006.), ISA100.11a
Potencia de transmisión	Antena externa: Máximo de 10 mW (10 dBm) EIRP Rango extendido antena externa: Máximo de 18 mW (12,5 dBm) EIRP	+13dB	125 mW (20,9 dBm) Máxima potencia de transmisión sin incluir antena por FCC/IC, o 400 mW (26 dBm) máximo EIRP incluyendo antena.
Tasa de actualización	4 a 60 segundos	10, 15, 20, 40, 60 segundos	1, 5, 10 o 30 segundos Rate: 250 Kbps
Antenas	Antena omnidireccional integrada PBT/polycarbonato (PC)	Antena integrada con cubierta de la antena. Antena externa Yagui, 6db, unida a la base de la unidad.	Antena integrada de 2 dBi omnidireccional monopolo Antena integrada de 4 dBi omnidireccional monopolo Antena remota de 8 dBi omnidireccional monopolo con hasta 20 m cable y un supresor de pico. Antena remota de 14 dBi direccional parabólica con hasta 20 m cable y un supresor de pico.
Certificaciones de seguridad	- Explosion-Proof Clase I, División 1, Grupos B, C, and D. A prueba de polvos combustibles para Clase II, División 1, Grupos E, F, and G. A prueba de polvos combustibles para Clase III, División 1. T5 (Ta = 85 °C), sellado de fabrica, alojamiento tipo 4x. - Intrínsecamente seguro: Clase I, División 1, Grupos A, B, C, and D; Clase II, División 1, Grupos E, F, and G; Clase III, División 1.	- Explosion Proof: Clase I, División 1, Grupos A, B, C and D; Clase II, División 1, Grupos E, F and G; Clase III, División 1 Clase I, División 2, Grupos A, B, C and D; Clase II, División 2, Grupos F and G; Clase III División 2. - Intrínsecamente seguro: CSA - Exia IIC; AEx ia IIC: Clase I, División 1, Grupos A, B, C & D; Clase II, División 1, Grupos E, F & G; Clase III, División 1.	- Explosion-proof: Clase I, División 1, Grupos A,B,C,D; Clase II, División 1, Grupos E, F & G; Clase III, División 1, T4, Ta ≤ 85°C; Tipo 4X. Clase I, Ex/AEx d IIC; T4, Ta ≤ 85°C, Zona 1; IP66. - Intrínsecamente seguro: Clase I, División 1, Grupos A,B,C,D; Clase II, División 1, Grupos E,F,G; Clase III, División 1; T4, Ta ≤ 85°C; Tipo 4X Clase I, Ex/AEx ia IIC; T4, Ta ≤ 85°C, Zona 0; IP66.

Tabla 4. Costo de la instrumentación

Instrumentos	Rosemount	Schneider	Honeywell
Radio Multinodo (Gateway)	10 000 000	15 268 559	14 468 872
Transmisor de Presión	11 353 620	5 666 185	6 329 584
Transmisor de Temperatura	8 497 280	5 526 387	4 932 932
Transmisor Analógico	11 577 920	5 618 129	4 932 932
Costo Total	41 428 820,00	32 079 260,00	30 633 834,00

Nota: los valores de la Tabla son precios de referencia, son el costo de la instrumentación sin algún tipo de promoción o descuento, la conversión de dolar a pesos se hizo con el precio del dólar del día 4 de agosto del 2012 de 1786.06 pesos.

4.2. Selección de proveedor

Considerando las características del pozo C-67 y las especificaciones de la instrumentación necesarias para hacer el diseño piloto, se procede a buscar cuál de los tres proveedores es el más adecuado para usar su tecnología, para ello tendremos en cuenta que no solo cumplan con las especificaciones requeridas sino que también se tendrá en cuenta la información que se tiene de toda la tecnología, la estructura y organización de la información, la facilidad de configuración e instalación de la instrumentación y la red, información sobre instalación, configuración y manejo del software y el costo.

Como se puede observar en las Tablas 2 y 3 las tres tecnologías son muy similares en sus características técnicas, mecánicas, eléctricas y de comunicación lo cual representaría una ventaja, puesto que cualquiera de ellas puede ser utilizada en el diseño, sin embargo en lo que respecta a la información Honeywell es quien tiene mayor información de cada instrumento y del software, así mismo de la forma de instalación de cada dispositivo, mantenimiento, configuración de la red, configuración de los dispositivos de campo y calibración de cada uno de ellos y cuenta con herramientas de autodiagnóstico que ayudan al usuario proporcionando mensajes de estado de cada dispositivo en campo incluyendo el estado de la batería y la intensidad de la señal recibida (RSSI); Si ocurre un problema el operador recibe rápidamente la información necesaria para ayudarle a determinar la causa.

Asimismo toda esta información se encuentra organizada en su página web¹³ y en las líneas de atención al cliente le ofrecen mayor información con métodos más fáciles y prácticos para aquellos que no son especialistas en el área de la instrumentación industrial o instalación de software.

La tecnología Wireless XYR 6000 es la segunda generación de instrumentación inalámbrica fabricada por Honeywell diseñada con los estándares necesarios para ser utilizadas en las industrias de petróleo y gas entre otras. También cuenta con un soporte técnico global, el cual es

¹³ <https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/wireless/input-output-devices/xyr-6000/Pages/default.aspx>

un equipo de ingenieros con experiencia que brinda apoyo técnico pre y post-venta a los usuarios de instrumentos de campo de Honeywell. Las herramientas y servicios del soporte técnico global pueden ayudar a acortar el tiempo necesario para evaluar, seleccionar, y ordenar los instrumentos de campo y pueden ayudarle a obtener los mayores beneficios de los instrumentos una vez que están instalados.

Por último y no menos importante como se puede ver en la Tabla 4, el proveedor que ofrece los precios más económicos es Honeywell.

4.3. Selección de la instrumentación inalámbrica

Una vez elegido el proveedor el paso a seguir es seleccionar los instrumentos más adecuados que se utilizaran en el diseño según las especificaciones y requerimientos del pozo, para ello se estudiaran los dispositivos que maneja Honeywell para cada variable de interés y se seleccionará el más apropiado. La tecnología XYR 6000 de Honeywell ofrece los siguientes modelos para la instrumentación de las variables deseadas:

Tabla 5. Modelos de la tecnología XYR 6000 de Honeywell para las variables de interés

	MODELO	RANGO	CARACTERISTICAS
Transmisor de presión manométrica	STGW944	0 a 500 psi	Cabeza dual
	STGW94L	0 a 500 psi	Cabezal en línea
	STGW974	0 a 3000 psi	Cabeza dual
	STGW97L	0 a 3000 psi	Cabezal en línea
	STGW98L	0 a 6000 psi	Cabezal en línea
Transmisor de temperatura	STTW820, 830, 840	No especificado en la hoja de datos.	Montura directa T/C o RTD
	STTW400		3 entradas para T/C's o 2 entradas para RTD
	STTW401		Una entrada para T/C o 2 entradas discretas
Transmisor de entradas analógicas	STIW600	0 a 5 Volts	Una entrada para corriente y una entrada para tensión.
		1 a 5 Volts	
		0 a 20 mA	
		4 a 20 mA	

Como se puede observar en la Tabla 5 y teniendo en cuenta la información suministrada en el Capítulo 3, se seleccionaron los siguientes modelos para ser usados en el diseño; para la variable de presión se escogió el modelo STGW94L mostrado en la Figura 4, puesto que el rango de éste es el que mas se adecua a los niveles de presión del campo y la medición de presión se tomará de un solo punto, mientras que el STGW944 es de cabeza dual y se usa para medir dos puntos de presión.



Figura 4. Transmisor de presión manométrica STGW94L. Fuente: [19]

Para la variable de temperatura se eligió el modelo STTW400 mostrado en la Figura 5, debido a que como se describe en la Tabla 4 este dispositivo tiene 3 entradas para T/C's (Thermocouple) o 2 entradas para RTD (Resistance Temperature Detector), lo que nos permitiría tener un máximo de tres mediciones con una sola señal de control, puesto que este transmisor no trae el elemento primario de medición incorporado se utilizará el sensor de temperatura seleccionado en el trabajo de grado "SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACION DE UN POZO EN CAMPO ESCUELA COLORADO: VARIABLES EN CABEZA DE POZO", el omnigrad T TR 25 de Endress+Hauser¹⁴, mostrado en la Figura 6, es una RTD que tiene protección IP65 a IP67, salida de 4-20 mA y un rango de temperatura de -50 a 400°C.



Figura 5. Transmisor de temperatura STTW400. Fuentes: [20]

¹⁴ https://portal.endress.com/wa001/dla/50000005655/000/00/TI270ten_0304.pdf



Figura 6. Sensor de temperatura omnigrad T TR 25. Fuente: [17]

El último dispositivo de campo seleccionado es el transmisor de entradas analógicas mostrado en la Figura 7, para tener disponibilidad para señales de 4-20 mA de otros dispositivos que no sean tecnología inalámbrica, este dispositivo se utilizará para transmitir la señal del medidor de caudal seleccionado en el Capítulo 3 o el que seleccione el cliente final.



Figura 7. Transmisor de entradas analógicas STIW600. Fuente: [18]

El radio multinodo mostrado en la Figura 8 es el encargado de interrogar a los dispositivos en campo, recolectar la información y enviarla al computador o servidor al que se encuentra conectado.



Figura 8. Radio multinodo. Fuente: [21]

Por último se necesita una PDA (Personal Digital Assistant) con puerto infrarrojo Figura 9, con la cual se autentica, configuran y calibran los transmisores por medio del puerto infrarrojo utilizando un software especial de Honeywell que se debe instalar en la PDA.



Figura 9. PDA con puerto infrarrojo. Fuente: [24]

4.4. Componentes de la red de transmisión de datos

Hay cinco componentes principales que conforman la red inalámbrica de Honeywell los cuales son descritos a continuación.

4.4.1. Transmisores inalámbricos

La serie de medición XYR 6000 hace parte del sistema Onewireless de Honeywell y son dispositivos de campo especializados en la medición de variables de proceso sin la necesidad de utilizar cables para el envío de la información ni para la alimentación.

La serie de transmisión inalámbrica XYR 6000 le permite al usuario obtener datos, crear información remotamente y medir en lugares peligrosos o muy remotos sin la necesidad de utilizar cables. Los transmisores pueden ser instalados y funcionar en minutos, proporcionando información al sistema en el menor tiempo posible.

La energía para la transmisión es suministrada por dos baterías tamaño "D" de litio con una vida útil prevista de hasta diez años. El rango de transmisión con la antena incorporada de 2dBi es de 305m bajo condiciones ideales.

4.4.1.1. XYR 6000 Transmisor inalámbrico de entradas analógicas, Modelo STIW600



Figura 10. Transmisor inalámbrico de entradas analógicas. Fuente: [18]

El transmisor HLAI (Figura 10) se puede utilizar para convertir cualquier dispositivo de medición con una salida de 4-20 mA/1-5 V en un sensor inalámbrico, por ejemplo, el flujo de análisis, o las

mediciones de nivel. El transmisor se puede utilizar con dispositivos de medición que tienen la aprobación de seguridad intrínseca para hacer una medición inalámbrica sin perder la calificación de seguridad intrínseca, en la Figura 11 se pueden observar las características técnicas del dispositivo [18].

Parameter	Reference Condition (at zero static)		Rated Condition		Operative Limits		Transportation and Storage	
	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
Ambient Temperature	25 ±1	77 ±2	-40 to 85*	-40 to 185*	-40 to 85*	-40 to 185*	-40 to 85	-40 to 185
Humidity %RH	10 to 55		0 to 100		0 to 100		0 to 100	
Ambient Temperature LCD Display visible range	25 ±1	77 ±2	-40 to 85°C -40 to 185°F					
Vibration	Maximum of 4g over 15 to 200Hz.							
Shock	Maximum of 40g.							
Power	Battery powered 3.6V Lithium thionyl chloride (LiSOCI2) batteries non rechargeable, size D							
	24VDC Wired Power (option) - For I.S. Application: 21 V to 25 Vdc Operated with MTL7728P+ barrier (252 Ohms Max. end to end resistance), Max input current 26mA. For Non I.S. application: 11 V to 30 Vdc Input range, Max input current 100mA.							

Figura 11. Condiciones de operación del STIW600. Fuente: [18]

4.4.1.2. XYR 6000 Transmisor inalámbrico de presión manométrica, Modelo STG94L



Figura 12. Transmisor inalámbrico de presión manométrica. Fuente: [19]

Los transmisores de presión manométrica de la serie XYR 6000 (Figura 12) están diseñados para aplicaciones que requieren alta precisión y fiabilidad para una operación segura y económica. Las aplicaciones típicas incluyen la medición de alta presión en las calderas de combustible en la industria, alimentos y alta presión en recipientes de reacción en la industria petroquímica y de recuperación de hidrocarburos, en la Figura 13 se pueden observar las características técnicas del dispositivo [19].

Parameter	Reference Condition (at zero static)		Rated Condition		Operative Limits		Transportation and Storage	
	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
Ambient Temperature	25 ±1	77 ±2	-40 to 70	-40 to 158	-40 to 85	-40 to 185	-40 to 85	-40 to 185
Ambient Temperature LCD Display visible range	25 ±1	77 ±2	-40 to 85	-40 to 185				
Meter Body Temperature	25 ±1	77 ±2	-40 to 110	-40 to 230	-40 to 125	-40 to 257	-40 to 85	-40 to 185
Humidity %RH	10 to 55		0 to 100		0 to 100		0 to 100	
Vacuum Region - Minimum Pressure mmHg absolute inH ₂ O absolute	atmospheric atmospheric		25 13		2 (short term) 1 (short term)			
Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) (XYR6000 products are rated to Maximum Allowable Working Pressure. MAWP depends on Approval Agency and transmitter materials of construction.))	STGW944 and STGW94L = 500 psi, 35 bar STGW974 and STGW97L = 3,000 psi, 210 bar STGW98L = 6,000 psi, 415 bar STGW99L = 10,000 psi, 690 bar Units can withstand overpressure of 1.5X MAWP without damage.							
Vibration	Maximum of 4g over 15 to 200Hz.							
Shock	Maximum of 40g.							
Power	Battery powered 3.6V Lithium thionyl chloride (LiSOCl ₂) batteries non rechargeable, size D							
	24 Vdc Wired Power (option) - For I.S. Application: 21 V to 25 Vdc Operated with MTL7728P+ barrier (252 Ohms Max. end to end resistance), Max input current 26mA. For Non I.S. application: 11 V to 30 Vdc Input range, Max input current 100mA.							

Figura 13. Condiciones de operación del STGW944. Fuente: [19]

4.4.1.3. XYR 6000 Transmisor inalámbrico de temperatura, Modelo STTW400



Figura 14. Transmisor inalámbrico de temperatura. Fuente: [20]

El transmisor de temperatura (Figura 14) tiene tres entradas de termocuplas, dos entradas de RTD, o una termocupla y una RTD sin compartir los terminales de cableado de campo. El transmisor de temperatura puede soportar simultáneamente una sonda integral y los insumos

externos, incluyendo las siguientes combinaciones de termocuplas, RTD y entradas discretas. Cuando la sonda integrada es una termocupla, se puede conectar externamente al transmisor de temperatura dos termocuplas o una RTD. Cuando la sonda integrada es una RTD, se pueden conectar externamente al transmisor una termocupla o una RTD, en la Figura 15 se pueden observar las características técnicas del dispositivo y en la Figura 16 se observan el cableado en campo del dispositivo [20].

Parameter	Reference Condition (at zero static)		Rated Condition		Operative Limits		Transportation and Storage	
	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
Ambient Temperature	25 ±1	77 ±2	-40 to 85*	-40 to 185*	-40 to 85*	-40 to 185*	-40 to 85	-40 to 185
Humidity %RH	10 to 55		0 to 100		0 to 100		0 to 100	
Ambient Temperature LCD Display visible range	25 ±1	77 ±2	-40 to 85°C -40 to 185°F					
Vibration	Maximum of 4g over 15 to 200Hz.							
Shock	Maximum of 40g.							
Power	Battery powered 3.6V Lithium thionyl chloride (LiSOCI2) batteries non rechargeable, size D							
	24VDC Wired Power (option) - For I.S. Application: 21 V to 25 Vdc Operated with MTL7728P+ barrier (252 Ohms Max. end to end resistance), Max input current 26mA. For Non I.S. application: 11 V to 30 Vdc Input range, Max input current 100mA.							

Figura 15. Condiciones de operación del STTW400. Fuente: [20]

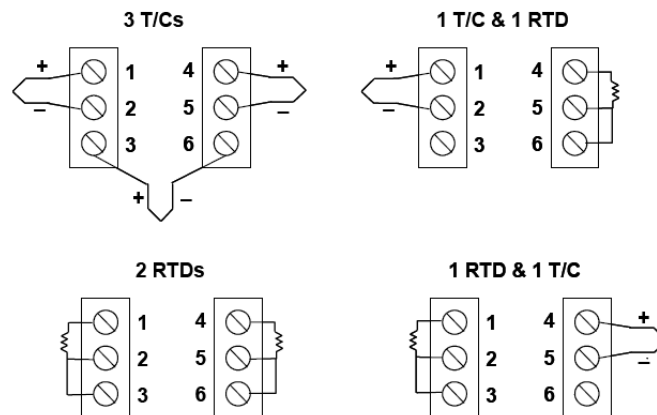


Figura 16. Cableado de campo de STTW400. Fuente: [20]

Parameter	Description
Wireless Communication	2,400 to 2,483.5 MHz (2.4 GHz) Industrial, Scientific and Medical (ISM) band FHSS Selection – Frequency Hopping Spread Spectrum DSSS Selection – Discrete Sequential Spread Spectrum per FCC 15.247 / IEEE 802.15.4–2006 Every data packet transmitted in either direction is verified (CRC check) and acknowledged by the receiving device. USA – FCC Certified Canada – IC Certified European Union – RTTE/ETSI Conformity
FHSS RF Transmitter Power	NA Selection – 125 mW (20.9 dBm) maximum transmit power not including antenna per FCC/IC, or 400 mW (26.0 dBm) maximum EIRP including antenna for USA and Canadian locations. EU Selection – 100 mW (20.0 dBm) maximum EIRP including antenna per RTTE/ETSI for EU locations.
DSSS RF Transmitter Power	NA Selection – 125 mW (20.9 dBm) maximum transmit power not including antenna per FCC/IC, or 400 mW (26.0 dBm) maximum EIRP including antenna for USA and Canadian locations. EU Selection – 10 mW (10.0 dBm) maximum EIRP including antenna per RTTE/ETSI for EU locations.
Data	PV Publish Cycle Time: Configurable as 1, 5, 10 or 30 seconds Rate: 250 Kbps
Antennas	Integral – 2 dBi omnidirectional monopole Integral – 4 dBi omnidirectional monopole Remote – 8 dBi omnidirectional monopole with up to 20 m cable and lightning surge arrester. Remote – 14 dBi directional parabolic with up to 20 m cable and lightning surge arrester.
Signal Range	Nominal 305 m (1,000 feet) between Field Transmitter and Infrastructure Unit (Multinode) or Gateway Unit when using 2 dBi Integral antenna with a clear line of sight.

Figura 17. Especificaciones inalámbricas de la serie XYR 6000. Fuente: [18]

4.4.2. Antenas inalámbricas

Los transmisores cuentan con una antena integrada de 2dBi (la que se observa en las imágenes de los instrumentos) la cual da un alcance de 305 metros como se menciono anteriormente. El patrón de radiación de estas antenas es omnidireccional y de 360 grados tanto vertical como horizontalmente, por otra parte esta antena puede ser retirada y utilizando un adaptador de rosca y cable coaxial se pueden añadir a los trasmisores otros tipos de antenas más como los que se describen a continuación.

4.4.2.1. Antena omnidireccional 2,4GHz 4dBi – HGV2404U



Figura 18. Antena omnidireccional 2,4ghz 4dbi. Fuente: [11]

El modelo de antena HGV-2404U se encuentra entre las económicas de **alto rendimiento** dentro de las antenas omnidireccionales Wi-Fi diseñadas para la banda ISM de 2,4GHz. Estas antenas **compactas, ligeras y económicas** son ideales para las especificaciones IEEE 802.11b, 802.11g y 802.11n LAN inalámbricas, Bluetooth, la aplicación pública punto de acceso inalámbrica (hotspot wireless) y otras aplicaciones multipunto donde se desea una amplia cobertura.

Esta antena es versátil y económica y viene con conector N-Hembra, la antena es de fácil instalación gracias en un soporte de acero de gran resistencia y un par de abrazaderas, el cual permite la instalación en mástiles de hasta 2,0" de diámetro (Figura 18).

Construida para trabajar en todas las condiciones meteorológicas, incluye radomo en fibra de vidrio gris. Una tapa con ventilación y orificios de drenaje en la base que ayuda a prevenir la acumulación de humedad en el interior de la antena. Estas características le permiten a la antena ser montada en posición hacia arriba o hacia abajo. Diseñada en fibra de vidrio, resistente a los rayos UV [11].

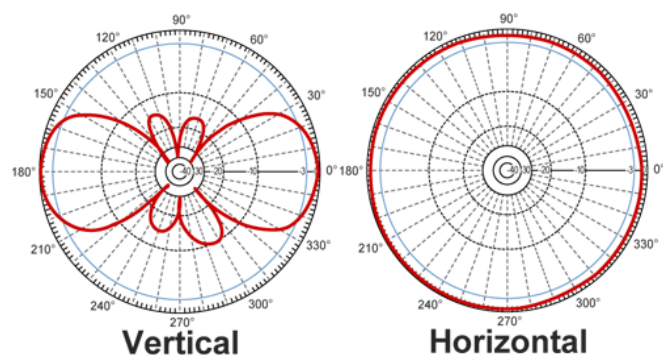


Figura 19. Patrón de ganancia de la antena de 4dBi. Fuente: [11]

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	4 dBi
Polarization	Vertical
Vertical Beam Width	50°
Horizontal Beam Width	360°
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	100 Watts
VSWR	< 1.5:1 avg.
Weight	.21 lbs. (0.09 kg)
Length	8.7 in. (22 cm)
Base Diameter	1.27 in. (3.22 cm)
Radome Diameter	.75 in. (1.90 cm)
Radome Material	Gray Fiberglass
Wind Survival	>150 MPH
Operating Temperature	-40° C to to 85° C (-40° F to 185° F)
Connector	Integral N-Type Female (Bulkhead type)
RoHS Compliant	Yes

Figura 20. Especificaciones técnicas de la antena de 4dBi. Fuente: [11]

4.4.2.2. Antena omnidireccional 2,4GHz 8dBi – HGV-2409U



Figura 21. Antena omnidireccional 2,4ghz 8dbi. Fuente: [12]

La antena Hyperlink modelo HGV-2409U es una antena omnidireccional económica de alto rendimiento, diseñada para la banda ISM de 2,4 GHz. Es una antena **compacta** y **ligera**, ideal para redes inalámbricas IEEE 802.11b /g, Bluetooth y otras aplicaciones **multipunto** donde se requiere una amplia cobertura.

Esta antena es versátil y económica y dispone de un cierre Integral tipo N-Hembra, la antena es de fácil instalación gracias en un soporte de acero de gran resistencia y un par de abrazaderas, el cual permite la instalación en mástiles de hasta 2,0" de diámetro.

Construida para trabajar en todas las condiciones meteorológicas, incluye radomo en fibra de vidrio gris. Una tapa con ventilación y orificios de drenaje en la base que ayuda a prevenir la acumulación de humedad en el interior de la antena. Estas características le permiten a la antena ser montada en posición hacia arriba o hacia abajo. Diseñada en fibra de vidrio, resistente a los rayos UV [12].

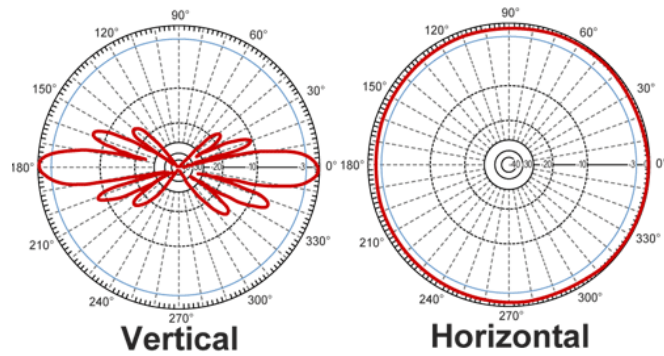


Figura 22. Patrón de ganancia de la antena de 8dBi. Fuente: [12]

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	8 dBi
Polarization	Vertical
Vertical Beam Width	15°
Horizontal Beam Width	360°
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	100 Watts
VSWR	< 1.5:1 avg.
Weight	1.1 lbs. (0.5 kg)
Length	19.7 in. (50 cm)
Base Diameter	1.27 in. (3.22 cm)
Radome Diameter	.75 in. (1.90 cm)
Radome Material	Gray Fiberglass
Wind Survival	>150 MPH
Operating Temperature	-40° C to 85° C (-40° F to 185° F)
Connector	Integral N-Type Female (Bulkhead type)

Figura 23. Especificaciones técnicas de la antena de 8dBi. Fuente: [12]

4.4.2.3. Antena direccional parabólica 2,4GHz 14dBi - HGV-2409U



Figura 24. Antena direccional parabólica 2,4ghz 14dbi. Fuente: [13]

Esta antena direccional/extensora de rango tipo mini-parabólica de alto desempeño provee 14dBi de ganancia con 25 grados de amplitud de señal para lograr enlaces direccionales a media distancia. Es apropiada para instalaciones en interiores y exteriores dentro de la banda ISM 2,4 GHz para 802.11b, 802.11g, 802.11n (Draft-N) y aplicaciones bluetooth.

Fabricada con plástico estable UV de alta calidad resistente a la intemperie, este material la hace resistente y liviana para facilitar su manejo e instalación. El diseño del reflector minimiza la interferencia. El montaje con pivote e inclinación facilita su instalación en pared o mástil [13].

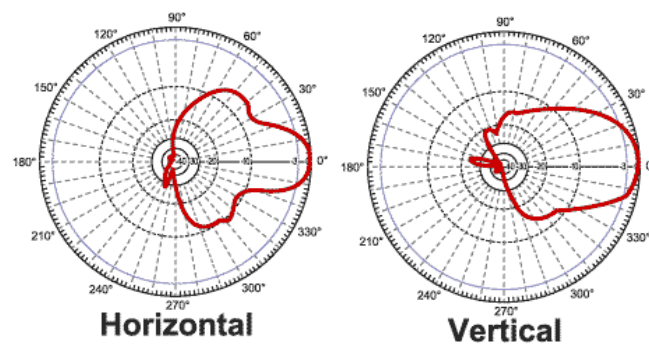


Figura 25. Patrón de ganancia de la antena de 14dBi. Fuente: [13]

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	14 dBi
Horizontal Beam Width	25 degrees
Vertical Beam Width	25 degrees
Front to Back Ratio	>30dB
Impedance	50 Ohm
VSWR	< 1.5:1 avg.
Maximum Input Power	50 Watts
Lightning Protection	DC Short

Figura 26. Especificaciones eléctricas de la antena de 14dBi. Fuente: [13]

Weight	< 3.0 lbs. (1.4 Kg)
Diameter	10.25" (260mm)
Radome Material	Plastic
Reflector Material	Aluminum
Mast Diameter	2.0" (50mm) max.
Polarization	Horizontal or Vertical
Wind Survival	>150 MPH
Operating Temperature	-40° C to 85° C (-40° F to 185° F)
RoHS Compliant	Yes
Connector	N-Female

Figura 27. Especificaciones mecánicas de la antena de 14dBi. Fuente: [13]

4.4.2.4. Antena sectorial de 120 grados 2,4GHz 20dBi – HG2420P-120



Figura 28. Antena sectorial de 120 grados 2,4GHz 20dBi. Fuente: [14]

La antena HG2420P-120 es una de las antenas sectoriales wifi que combina una alta ganancia con un amplio haz de 120 grados de ancho. Esta antena está diseñada principalmente para

proveedores de servicios en la banda ISM de 2,4GHz. Las aplicaciones incluyen IEEE 802.11b, 802.11g, 802.11n y sistemas de LAN inalámbrica.

Esta antena ofrece una cúpula de plástico robusta y resistente a la intemperie para operar en todo tipo de condiciones meteorológicas. El sistema de montaje se ajusta de a 20 grados hacia abajo y sin inclinación [14].

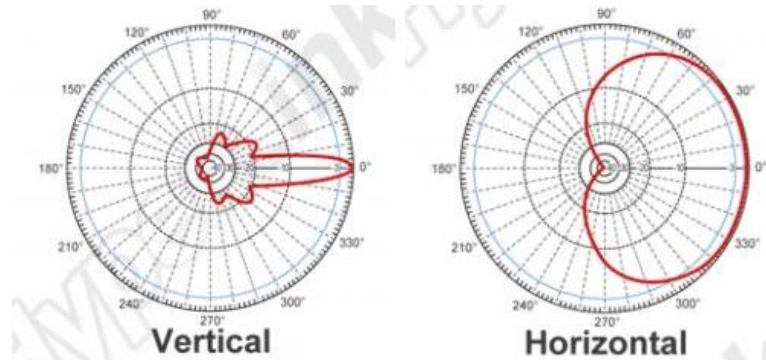


Figura 29. Patrón de ganancia de la antena sectorial de 20 dBi. Fuente: [14]

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	20 dBi
Horizontal Beam Width	120 degrees
Vertical Beam Width	+/- 5°
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	250 Watts
VSWR	< 1.3:1 avg.
Connector	N Female
Lightning Protection	DC Short

Figura 30. Especificaciones eléctricas de la antena sectorial de 20 dBi. Fuente: [14]

Weight	12 lbs. (5.44 Kg)
Dimensions	39 x 9 x 2.5 inches (99 x 22.9 x 6.4 cm)
Radome Material	UV-Inhibited Polymer
Reflector Material	Aluminum
Operating Temperature	-40° C to 85° C (-40° F to 185° F)
Mounting	2 inch (5 cm) O.D. pipe max.
Polarization	Vertical
Downtilt (mech)	0 to 20 degrees (adjustable)
Compliant	ANATEL® Brazil and RoHS

Figura 31. Especificaciones mecánicas de la antena sectorial de 20 dBi. Fuente: [14]

4.4.3. Nodos de la red (Multinodos)

Sirven de red troncal para enrutar el tráfico inalámbrico hacia el sistema de control.



Figura 32. Multinodo OneWireless XYR 6000. Fuente: [21]

Los multinodos son pre-configurado con tres radios: dos radios compatibles con IEEE 802.11a/b/g y uno para transmisión inalámbrica XYR 6000 (radio Frequency Hopping Spread Spectrum “FHSS”). Los dispositivos pueden ser instalados con antenas omnidireccionales, parabólicas y sectoriales.

Cada multinodo puede ser configurado como un sistema inalámbrico de puerta de enlace (Wireless System Gateway “WSG”) – el multinodo actúa como una puerta de enlace (Gateway) conectando los dispositivos en campo a el sistema de control por cable; o como multinodo – un punto de acceso que transmite, recibe y enruta datos entre los dispositivos inalámbricos de campo y el Gateway. El WSG soporta la mayoría de los protocolos de los dispositivos de campo necesarios para aplicaciones de control, tales como Modbus, OPC y HART.

4.4.3.1. Especificaciones del multinodo

- CPU: XScale IXP 425 @ 533 MHz
- 8 MB flash
- 64 MB SDRAM
- El multinodo requiere 24 VDC +10% - 15% a 25 Watts

4.4.3.2. Características principales

- Soporta radio 802.11b / g y dispositivos de transmisión inalámbrica ISA100- Reddy.
- Adecuado para áreas clase I Div. 2/ATEX Zona 2.
- Dos cables Ethernet para conexión opcional a los dispositivos con cable.
- Caja clasificada IP66.
- LED indicadores de estado.
- Soporte de los protocolos de dispositivo de campo: Modbus, TCP/IP, HART y OPC.
- Seguridad basado en la manejo de llaves vía infrarrojo.
- Integración con datos de transmisores XYR 5000 (tecnología anterior a la XYR 6000).

4.4.3.3. Malla de auto configuración y auto recuperación

Un enrutamiento inalámbrico inteligente permite a un multinodo remoto una optimización dinámica para encontrar la mejor ruta para conectarse con otros multinodos, mitigando interferencia y ayudando a tener una red segura de alta capacidad.

4.4.3.4. Configuración remota y local con el OneWireless server

El multinodo OneWireless es administrado y monitoreado por el OneWireless Server. El servidor centraliza las funciones claves necesarias para mantener la WLAN, es decir rendimiento del dispositivo, seguridad avanzada y calidad de servicio. El multinodo es precargado con las siguientes herramientas y utilidades que pueden ser accedidas local o remotamente:

- Web Server / HTTPS.
- Agente SNMP.
- Utilidad Ping.
- Utilidad de seguimiento de ruta.
- Actualización de firmware inalámbricamente.
- Reinicio del dispositivo.
- defecto de fábrica.
- Información de la Intensidad de señal.

4.4.3.5. Seguridad basada en el manejo de llaves vía infrarrojo

Honeywell diseñó un sistema de manejo de llaves de seguridad infrarroja. Antes de que un transmisor inalámbrico o un multinodo se unan a la red inalámbrica, una llave de seguridad debe ser transferida al dispositivo por medio de un dispositivo de ayuda portable con puerto infrarrojo (por ejemplo una PDA). Todos los multinodos y los transmisores tienen puerto infrarrojo que permite que la llave sea enviada al dispositivo. Enviada la llave al dispositivo, este automáticamente se unirá a la red. El envío de la llave es solo requerido una vez [21].

4.4.4. Sistema inalámbrico de puerta de enlace (WSG)

(WSGs Wireless System Gateways) actúan como puentes entre la red inalámbrica y la red cableada de la planta.



Figura 33. Multinodo OneWireless XYR 6000. Fuente: [21]

Un WSG conecta la red inalámbrica al sistema de monitoreo y control, conectando los dispositivos inalámbricos I/O (entrada/salida) de campo (transmisores o actuadores) al sistema de control del proceso habilitando intercambio de datos con las aplicaciones del sistema de control. Otros dispositivos inalámbricos se conectan a la red de control del proceso a través de un multinodo, actuando como puente inalámbrico.

4.4.4.1. Redundancia del sistema inalámbrico de puerta de enlace

La redundancia de WSG mejora la fiabilidad de la red OneWireless al prevenir la pérdida de datos de proceso. Dos WSGs pueden ser colocados juntos con uno actuando como el WSG primario y el otro como el remplazo, el remplazo es activado en línea con el primario, para que este pueda hacer control inmediato si el primario falla o es apagado. Este par de WSGs son sincronizados para que algún cambio hecho en el primario sea reflejado automáticamente en el remplazo.

4.4.4.2. Malla de alta escalabilidad

La red en mallas de Honeywell soportan hasta 40 multinodos por OneWireless Server; donde algunos o todos los multinodos pueden ser también WSG. La capacidad en una red en malla puede ser incrementada convenientemente adicionando multinodos o WSGs en el borde de la red como se puede observar en la Figura 34 [21].

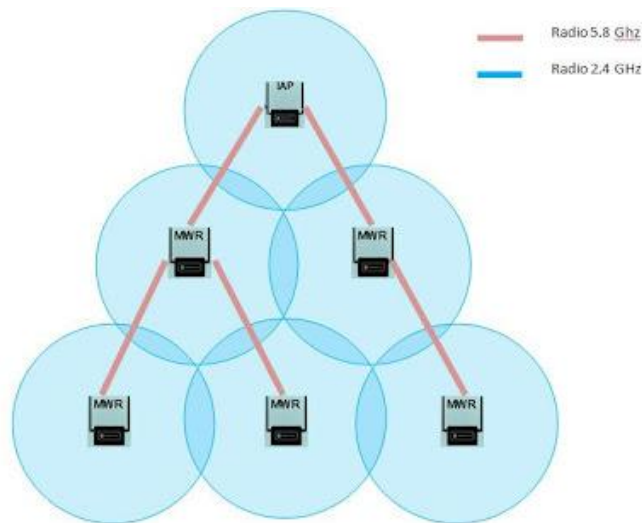


Figura 34. Red en malla. Fuente: [25]

4.4.5. Herramientas de configuración de dispositivos inalámbricos

Son los aplicativos con los que trabajan los equipos (Wireless Builder, servidor de claves y administrador de la red) y herramientas como los computadores y PDA usados para la configuración de los dispositivos inalámbricos.

4.4.5.1. Wireless Builder

Permite a los usuarios configurar, autorizar y cargar dispositivos de campo, tales como puertas de acceso inalámbrico y dispositivos inalámbrico I/O. Los usuarios pueden pre-configurar la base de datos antes de instalar la autenticación de los dispositivos de campo o simplemente, autorizar la autenticación de los dispositivos instalados. Los dispositivos inalámbricos de campo I/O autenticados aparecen automáticamente en el generador de wi-fi (Figura 35).

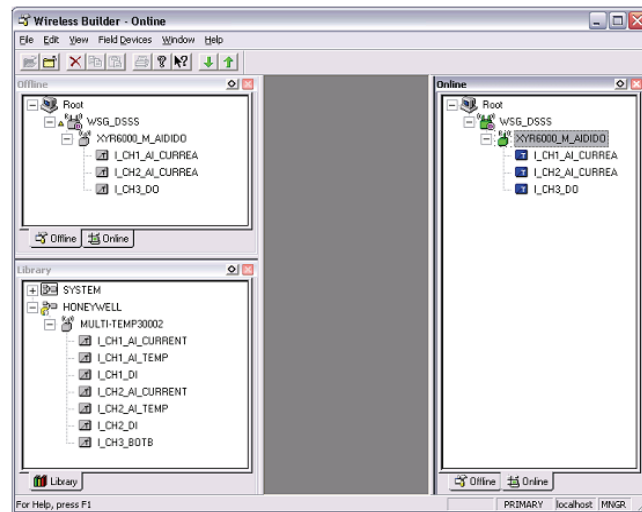


Figura 35. Herramienta Wireless Builder. Fuente: [22]

4.4.5.2. Key Server Manager

Proporciona la interfaz de usuario para generar y gestionar las llaves de seguridad inalámbrica, los usuarios podrán configurar "llaves móviles" en los dispositivos de campo, proporcionando una mayor seguridad. Los dispositivos de campo obtienen nuevas llaves de seguridad del servidor de llaves de forma periódica (Figuras 36 y 37).

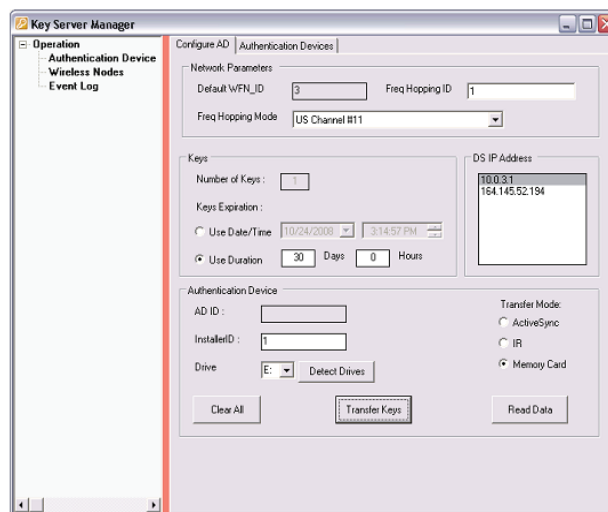


Figura 36. Herramienta Key Server Manager. Fuente: [22]

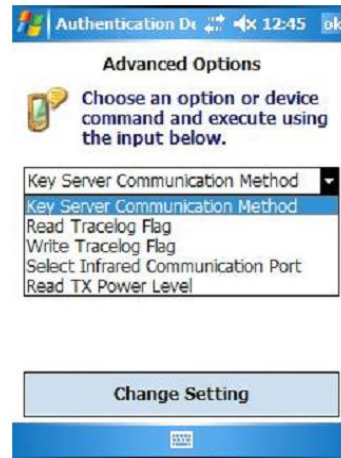


Figura 37. Herramienta Authentication Device en la PDA. Fuente: [8]

4.4.5.3. PDA

Es el dispositivo que guarda la llaves de autenticación y se encarga de pasar las llaves a los instrumentos mediante el puerto infrarrojo, también puede configurar los instrumentos en campo por medio del puerto infrarrojo. (Figura 38).



Figura 38. PDA con puerto infrarrojo. Fuente: [24]

5. Diseño del sistema de medición de variables

Como se señaló anteriormente es importante medir las variables de interés para la caracterización del funcionamiento del pozo, por este motivo en el diseño piloto que se propondrá se tendrán en cuenta dichas variables para tener un mejor monitoreo y control del pozo.

5.1. Descripción de la ubicación de la instrumentación

Para la medición de presión se aprovechará las ubicaciones de los instrumentos de presión ya instalados, pero sin quitarlos ya que serán usados como referencia para evitar posibles errores en la medición y/o de calibración; Para ello se añadirá una derivación en T para la instalación de ambos instrumentos, el transmisor recibe la perturbación directamente de la presión de fluido y la convierte en una señal de salida digital inalámbrica de magnitud de presión (psi, bar, mbar, inHg, in H₂O) que es enviada inalámbricamente al radio multinodo.

Debido a que el pozo no cuenta con instrumentos para medir temperatura y caudal se propondrá ubicarlos a la salida de la facilidad debido a que de ahí ya sale el fluido que va hacia el contenedor de almacenamiento. Como se mencionó en el Capítulo 3 para medir temperatura se usará el omnigrad T TR 25 de Endress+Hauser el cual se instalará entre 25 y 33 mm de profundidad y será conectado al transmisor de temperatura STTW400 quien recibe la señal de salida del omnigrad y la transforma en una señal de salida digital inalámbrica de magnitud temperatura (grados Kelvin o grados Celsius) para enviarla al radio multinodo.

Para la medición de caudal se usará el sistema ALTUS NOC del método “Sistema de Medición Multifásico Accuflow” estudiado en el punto 3.3 del proyecto de grado “SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACION DE UN POZO EN CAMPO ESCUELA COLORADO: VARIABLES EN CABEZA DE POZO” como se mencionó anteriormente, donde su señal de salida se conectará al transmisor de entradas analógicas STIW600 quien convertirá esta salida en una señal digital inalámbrica de 4-20 mA o 0-5 V, el cual también transmitirá esta información al radio multinodo.

El radio multinodo será ubicado en la antigua planta deshidratadora que es donde se encuentran las oficinas actualmente y será el cuarto de control; éste se encuentra ubicado a 110 metros del pozo colorado 67, debido a que el dispositivo multinodo es un equipo con protección IP66, este puede permanecer a la intemperie y las condiciones ambientales no afectan su funcionamiento, pero se debe tener presente que es muy importante cubrir las conexiones del cable coaxial al radio y a la antena con cinta autofundente y proteger las conexiones de Ethernet y alimentación con flexiconduit de 3/4”.

La antena del radio multinodo se instalará en el mástil ubicado cerca del cuarto de control a unos 15 metros de este como se puede observar en las Figuras 39 y 40, en el cual están instaladas unas antenas de internet inalámbrico, el mástil es una buena opción debido a que ya se encuentra instalado y no está muy lejos de las oficinas, esto evita el hecho de tener que instalar uno ya que la antena del radio se debe encontrar lo mas alto posible para tener un mejor ángulo de

visibilidad hacia los instrumentos, sin embargo el hecho de instalar un mástil cerca del radio es una mejor opción ya que entre menos distancia de cable coaxial haya entre el radio y la antena menos pérdida de potencia habrá y será mas inmune al ruido.

Por otro lado las antenas del internet inalámbrico no proporcionan ninguna interferencia si la antena es instalada en el mismo mástil o en uno cerca y en la misma dirección de propagación, debido a que aunque la frecuencia de las antenas de internet sea igual a la del multinodo (banda de frecuencia libre de 2,4 GHz) la frecuencia del radio puede ser programado para trabajar en cualquiera de los 15 canales disponibles entre 2,412 - 2,462 GHz, así se seleccionará la frecuencia de menor tráfico o la mas adecuada. El diseño en 3D así como el plano P&ID se pueden observar en los anexos A y B respectivamente.



Figura 39. Mástil de antenas de internet inalámbrico. Fuente: Autores.



Figura 40. Planta deshidratadora. Fuente: Autores.

5.2. Funcionamiento de la instrumentación

Primero se debe instalar el software de Honeywell **Wireless Builder**¹⁵ en el servidor (computador personal o servidor industrial) pues este dispositivo será el encargado de guardar toda la base de datos de los dispositivos de campo y las llaves de seguridad para la autenticación de los mismo, una vez instalado se descarga la aplicación **Authentication Device**¹⁶ en la PDA, ya instalados las aplicaciones se continua con la configuración del radio multinodo y descarga de las llaves de seguridad a la PDA desde el servidor donde fueron instalados los software.

Antes de instalar los transmisores en campo deben ser energizados en un área segura libre de cualquier gas inflamable, para ello se conecta el pin de alimentación del instrumento a los pines de la batería como se señala en la Figura 41, una vez se encuentren energizados los instrumentos y se hayan reiniciado se debe implementar la llave de seguridad para cada transmisor y al radio multinodo enviándola mediante el puerto infrarrojo de la PDA, primero se recomienda pasar la llave al radio multinodo y luego a cada dispositivo de campo, para que sean autenticados por el radio multinodo y así se puedan configurar para que comience la transmisión de datos.

Es importante determinar qué dispositivo será el servidor, debido a que éste será el que siempre esté conectado al radio multinodo puesto que él es quien guarda las llaves de seguridad, las cuales son las que identifican a los dispositivos de campo y permite la comunicación con el radio multinodo, y si por algún motivo el radio pierde energía, al volver a encender buscará en la base de datos del servidor los dispositivos autenticados para continuar con el proceso, pero si la base de datos es borrada o dañada se deberá hacer nuevamente el proceso de configuración de todo los dispositivos incluyendo el multinodo.

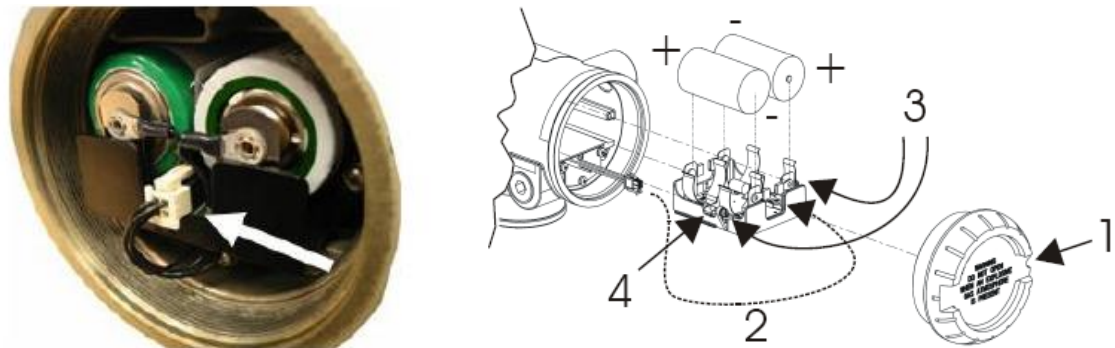


Figura 41. Conexión de las baterías. Fuente: [7]

Ya configurado tanto el radio multinodo como los transmisores es momento de instalarlos. Se instalará el radio multinodo en el cuarto de control y luego se instalan los transmisores inalámbricos en las ubicaciones ya mencionadas en el pozo colorado 67, en las Figuras 42 y 43 se pueden

¹⁵ Para mayor información sobre el *Wireless Builder*, leer el documento Honeywell, *OW-CDX060 Wireless Builder*, para información sobre su instalación leer los documentos Equipos y controles, *Manual de instalación ECI* y Honeywell, *OW-CDX010ECI Getting Started*.

¹⁶ Para mayor información sobre el *Authentication Device* leer el documento Honeywell, *OW-CDX040 Admin Guide*, para información sobre su instalación leer los documentos Honeywell, *OW-CDX010ECI Getting Started*.y Honeywell, *OW-CDX040 Admin Guide*

observar las posiciones mas comunes en la montura de los instrumentos¹⁷, se pueden conectar más equipos multinodos como repetidores, la cantidad de repetidores dependerá de la cantidad de instrumento de medición que se necesiten instalar y las distancias que debe cubrir, se debe tener en cuenta que el numero máximo de 20 multinodos puede ser implementados en un infraestructura de comunicación OneWireless, para este diseño solo se instalará un radio multinodo ya que se limita a un solo pozo y un máximo de 4 transmisores.

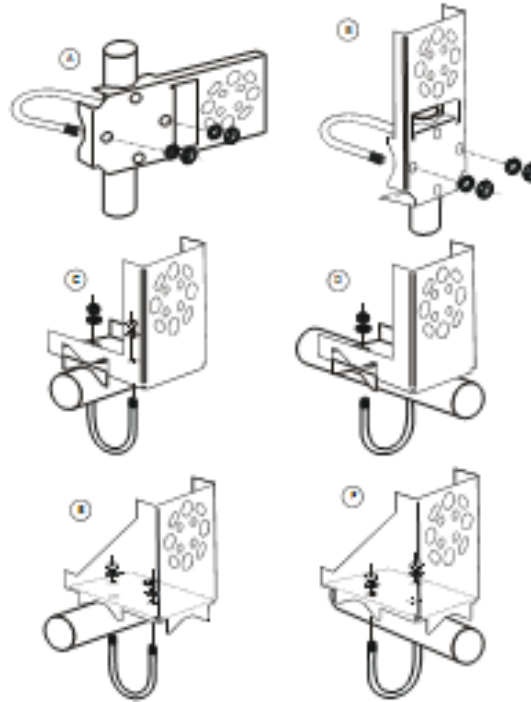


Figura 42. Orientaciones comunes de los soportes. Fuente: [7]

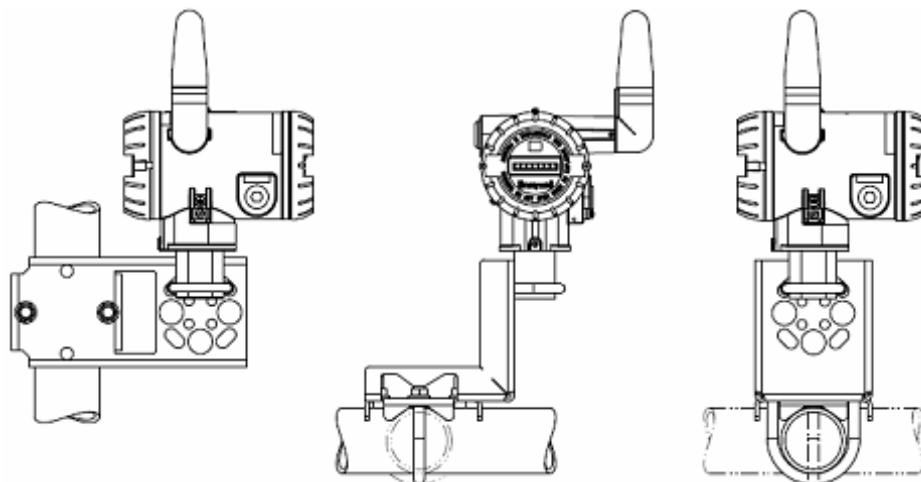


Figura 43. Posiciones típicas de instalación. Fuente: [7]

¹⁷ para mayor información sobre la instalación de los instrumentos en campo leer el documento Honeywell, 34-XY-25-21 *Quick Start Guide*.

Instalados y energizados todos los dispositivos en campo ellos automáticamente encuentran el Gateway u otro multinodo y se “adhieren” a la red y toda la información es enviada al Gateway (radio principal conectado al servidor) inalámbricamente utilizando la banda de frecuencia libre de 2,4 MHz, el Gateway envía dicha información vía Ethernet al servidor donde podrá ser guardada en cualquier base de datos para llevar un seguimiento del pozo como se ilustra en la Figura 44.

La red es auto-organizada, lo que significa que nuevos dispositivos se encontrarán unos a otros e inician la comunicación, esto minimiza el tiempo de arranque, también es auto-optimizada, lo que significa que automáticamente minimiza el consumo de potencia a través de la red. Entre más dispositivos multinodos estén implementados, ésta simplemente incrementa el número de caminos posibles para que los datos vuelvan al Gateway.

Los transmisores de la serie XYR 6000 OneWireless miden las variables de proceso y transmiten el valor medido como una señal de salida digital en unidades de ingeniería configurado por el usuario. Los transmisores envían la información a un multinodo o una serie de multinodos, lo que se conoce como una infraestructura MESH, estos nodos comunicados entre sí de forma inalámbrica, forman una red organizada, segura y redundante. Una puerta de enlace (WSG) o administrador de dispositivos se utiliza para conectar los dispositivos de la tecnología XYR 6000 instalados en campo a la estructura principal de comunicación OneWireless para llevar los datos en el sistema de monitoreo y control.

La forma en la que cada instrumento sensa las variables de campo varia según el modelo de cada dispositivo. El transmisor inalámbrico de presión STG94L mide la presión recibiendo directamente la perturbación del proceso para este caso el crudo; el transmisor inalámbrico de entradas analógicas STIW600 mide señales discretas de otros dispositivos ya que acepta una entrada para señal de corriente de 4-20 mA o para señal de voltaje de 0-5 Volt; el transmisor inalámbrico de temperatura STTW400 mide la señal analógica a partir de sensores de temperatura, entradas discretas, valores mili-volts o valores ohms, como se describe en el punto 6.1.1.3, todos estos dispositivos transmiten una señal de salida digital proporcional al valor medido para la comunicación digital directa con los sistemas.

Cada multinodo acepta señales de hasta 20 transmisores inalámbricos con actualización de 1 segundo, y hasta 400 transmisores a un ritmo de actualización más lento. Hasta 20 multinodos pueden ser implementados en la misma infraestructura de comunicación OneWireless, la cual es monitoreada por el servidor en el cual fue instalada la aplicación Wireless Builder. La información enviada por los emisores a una infraestructura de malla puede ser llevada a cualquier sistema de control de forma inalámbrica a través de cliente OPC o Modbus-TCP.

Los transmisores vienen con otras características 'inteligentes', tales como la opción de configurar los valores inferior y superior del área de distribución y selección programada de unidades de ingeniería para su visualización.

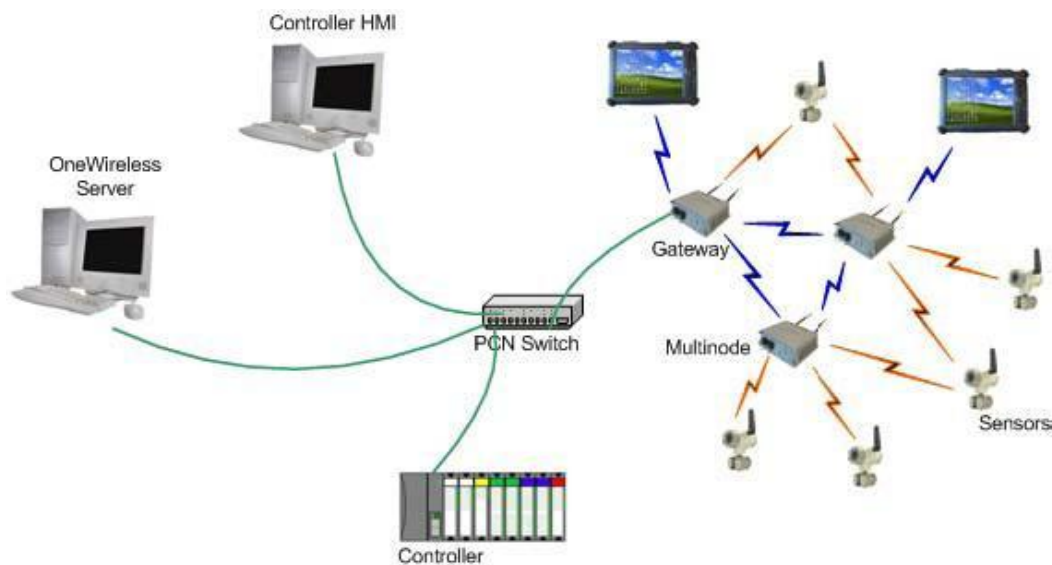


Figura 44. Esquema del funcionamiento de la instrumentación inalámbrica. Fuente: [23]

5.3. Configuración de la instrumentación

5.3.1. Configuración de dispositivo multinodo

El procedimiento que se observa en la Figura 45 permite la configuración inicial del dispositivo multinodo.

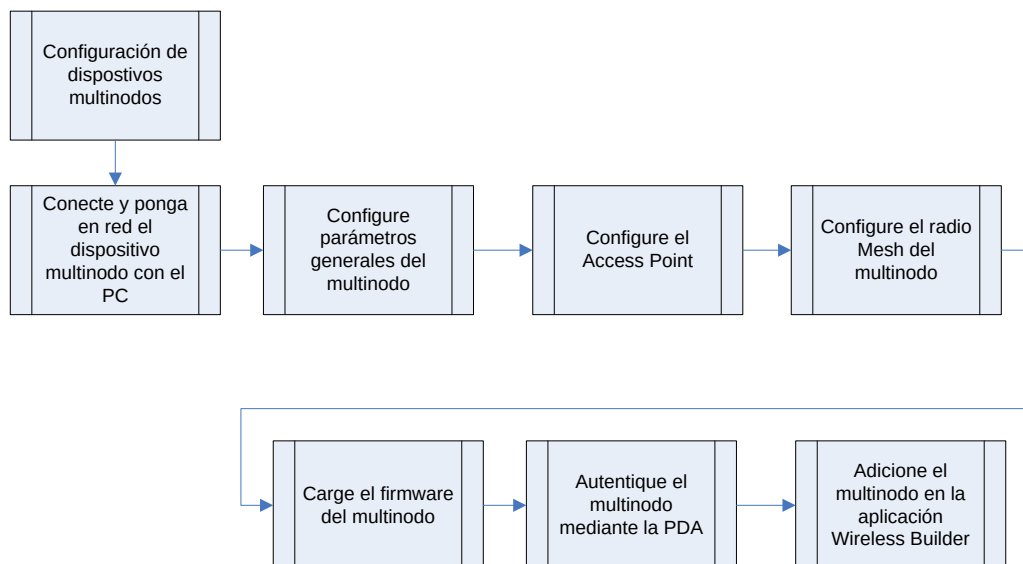


Figura 45. Diagrama de configuración del radio multinodo. Fuente: Autores

5.3.1.1. Características y conexionado del dispositivo multinodo

Como se puede observar en la Tabla 6 el radio multinodo cuenta con seis leds que indican el estado del dispositivo.

Para alimentar el dispositivo multinodo, conéctelo a una tensión de 24VDC, los cables rojo y verde se conectan al positivo de la fuente y los cables negro y blanco al común de la fuente.

Para la configuración inicial se usa el cable Ethernet marcado con la etiqueta **WAN 1**, éste se conecta al computador que hará de servidor. Se debe verificar que el computador este en red con el dispositivo multinodo. El equipo multinodo tiene por defecto la dirección IP 192.168.254.254 con máscara 255.255.255.0.

La dirección IP del computador se configura desde conexiones de red y se deja una dirección fija, por ejemplo, 192.168.20 con mascara 255.255.255.0 luego se verifica la conexión haciendo ping al multinodo desde el computador.

Tabla 6. Descripción de los indicadores Leds.

LED Indicador (color)	Indicación
Power (Verde)	Indica que la unidad esta energizada.
WAN (Amarillo)	Indica que la unidad tiene una conexión de red cableada en el puerto WAN1. Puede estar prendido o parpadeando. Apagado significa que no hay conexión.
WLAN1 (Amarillo) Radio AP	Indica que hay información pasando a través del radio AP. Puede estar prendido o parpadeando. Apagado significa que el radio esta deshabilitado.
WLAN2 (Amarillo) Radio Mesh	Indica que hay información pasando a través del radio Mesh. Puede estar prendido o parpadeando. Apagado significa que el radio esta deshabilitado.
WAN SS (Verde) Potencia de la señal del radio Mesh	Indica la calidad de la señal de conexión del radio Mesh. • LED apagado: no hay conexión con la malla o la señal es muy pobre. • LED parpadea aprox. 1s: hay conexión pero la calidad de la señal es pobre. • LED parpadea rápido: hay conexión con la malla y la calidad de la señal es buena. • LED prendido continuamente: hay conexión y la calidad de la señal es excelente.
FIPS / MODE (Rojo)	Indica el estado del multinodo dependiendo si está configurado como multinodo o WGS. • WSG-Led parpadea: el WSG no está cargado como Gateway desde la aplicación Wireless Builder. • WSG-Led prendido continuamente: el WSG esta cargado y corriendo. El WSG ha sido configurado en la aplicación Wireless Builder. • Multinodo: el comportamiento del led es indeterminando.

5.3.1.2. Configuración de los parámetros del multinodo

Para acceder a la página de configuración de los parámetros del multinodo se hace por medio de Internet Explorer usando la dirección respectiva en este caso: IP 192.168.254.254, debe mostrar a continuación la pantalla de la Figura 46.

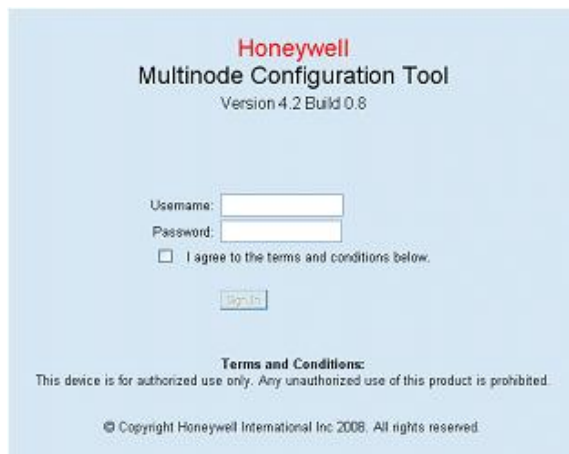


Figura 46. Login de la página de configuración del multinodo. Fuente: [9]

Inicialmente se usa como Username “**CryptoOfficer**” y como Password “**CryptoFIPS**” ambos son sensibles a las mayúsculas y es recomendable cambiarlos por seguridad.

Se selecciona la opción **I agree to terms and conditions below**. Y luego se da clic en **Sign In** debe aparecer la página mostrada en la Figura 47.

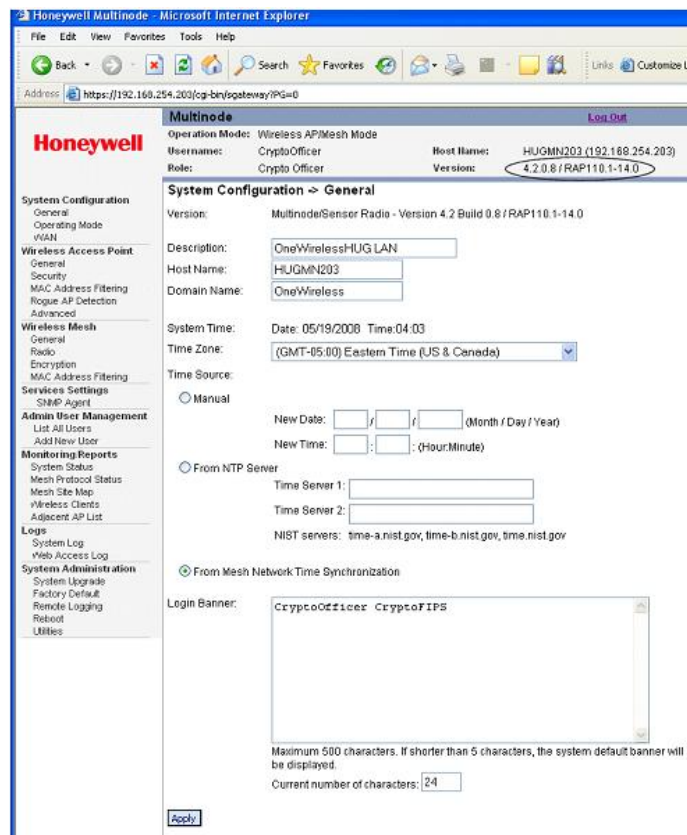


Figura 47. Ventana de configuración general. Fuente: [9]

Esta página muestra la versión del dispositivo multinodo, que para este caso es la: **4.2.0.8/RAP110.1-14.0** que es importante para la descarga del Firmware del dispositivo. En estas páginas se configuran los parámetros que se detallan a continuación.

5.3.1.2.1. System Configuration>General:

Description: identifica el dispositivo multinodo o su localización.

Host name: un nombre para la unidad.

Domain: es el nombre del dominio de la red.

System Time: se configura la hora se puede hacer manualmente o por servidor, si es por servidor se escoge la opción **NTP Server** si el dispositivo se configura como WSG (Wireless System Gateway) o la opción **Mesh Network** si es configurado como multinodo. Se aconseja configurar el tiempo ya que con él se generan los reportes que el multinodo realiza si hay algún cambio o evento.

Login Barner: es una etiqueta que soporta 500 caracteres y por defecto es mostrada en la página de inicio con el siguiente mensaje: ***"This device is for authorized use only. Any unauthorized use of this product is prohibited."***

Cuando se han realizado todos los cambios seleccionar ***"Apply"*** para guardar los cambios.

5.3.1.2.2. System Configuration>Operation mode:

En la ventana **Operation mode** del dispositivo multinodo, este puede ser configurado como WSG o multinodo. Toda red inalámbrica debe tener al menos un dispositivo principal WSG que es el encargado de conectar la red inalámbrica con la red industrial. Los modos de operación son:

L1/L2 Gateway: seleccione cuando el multinodo se va a utilizar como un WSG para conectar la red inalámbrica a un nivel 1 o nivel 2 de la red cableada.

L3/L4 Gateway: seleccione cuando el multinodo se va a utilizar como un WSG para conectar la red inalámbrica a un Nivel 3 o Nivel 4 de la red cableada.

Multinodo: seleccione cuando el multinodo se va a utilizar como multinodo para comunicarse con los dispositivos de campo inalámbricos.

Time Sync Root: cuando se utiliza la función de sincronización de tiempo (en la pantalla general) se debe seleccionar esta función en un solo multinodo de toda la red cableada. La fuente de tiempo de este nodo se debe establecer ya sea manual o desde el servidor en la pantalla general.

Cuando se han realizado todos los cambios seleccionar ***Apply*** para guardar los cambios.

5.3.1.2.3. System Configuration>WAN

Selecione WAN (Wide Area Network), Link **Auto** en el menú desplegable.

En **IP address** se configura la dirección IP del dispositivo con la respectiva máscara y puerta de enlace deseadas para el equipo multinodo. Por defecto la IP es 192.168.254.254 con máscara 255.255.255.0.

Cuando se han realizado todos los cambios seleccionar ***Apply*** para guardar los cambios.

5.3.1.3. Configuración del radio punto de acceso (Access Point)

En estas ventanas se configura uno de los tres radios que tiene el dispositivo multinodo, después de configurado y activado también se puede seguir la configuración por medio inalámbrico.

Honeywell

Multinode [Log Out](#)

Operation Mode: Wireless AP/Mesh Mode
Username: CryptoOfficer Host Name: HUGMN203 (192.168.254.203)
Role: Crypto Officer Version: 4.2.0.8 / RAP110.1-14.0

Wireless Access Point -> General

MAC Address: 00:0B:6B:0A:45:6C (WistronNew)
SSID: HUG_WAP
Wireless Mode: 802.11g
Channel No: 11 (2.462 GHz) [Select the optimal channel](#)
Tx Pwr Mode: Auto Fixed Power Level: 8
Automatically select the optimal channel at bootup: No

Advanced

Beacon Interval: 100 (Range: 20-1000)
RTS Threshold: 2346 (Range: 1-2346)
DTIM: 1 (Range: 1-255)
Basic Rates: 1, 2, 5.5, 11, 6, 12, 24 Mbps
Preamble: Long Preamble
Broadcast SSID: Enable

[Apply](#)

Figura 48. Ventana de configuración del Access Point. Fuente: [9]

En la ventana mostrada en la Figura 48 se muestra la MAC propia de este radio llamado **Access Point**. Los parámetros a configurar son los siguientes:

SSID: es el nombre del radio Access Point

Wireless Mode: configura el tipo de red inalámbrica. Se recomienda usar el estándar 802.11g.

Channel: Selecciona la frecuencia con la que va a trabajar este radio. Hay dos tipos de selección de frecuencia manual o automático. El equipo además muestra la mejor frecuencia o la menos congestionada si se selecciona la opción **Select the optimal channel** mostrando un diagrama de ocupación de frecuencia.

Tx Power Mode: esta opción prende o apaga el radio Acces Point y tiene 8 niveles de potencia de transmisión de la señal. El indicador led marcado como “WAN 1” se prende si el radio está encendido y si parpadea es indicación de que hay transmisión de datos mediante este radio.

Los parámetros avanzados se usan para el ajuste de la señal de este radio se recomienda dejar los mostrados por defecto, excepto el Broadcast del SSID, éste se recomienda apagarlo para que no haya radiodifusión de esta señal para cualquier equipo.

Los parámetros llamados Security y MAC address filtering permiten configurar la seguridad de este radio como cualquier dispositivo inalámbrico Wi-Fi.

Cuando se han realizado todos los cambios seleccionar **Apply** para guardar los cambios.

5.3.1.4. Configuración del radio tipo malla (Mesh)

En la Figura 49 se observa el otro radio configurable del dispositivo multinodo y es usado para hacer mallas de comunicación entre dispositivos multinodos, esto es una ventaja en estos equipos ya que reparte todo el tráfico de datos de los transmisores y crea redundancias para la seguridad de los datos. Se configura de la misma manera que el radio Access Point.

The screenshot shows the Honeywell Multinode configuration interface. The left sidebar contains a navigation menu with categories: System Configuration, Wireless Access Point, Wireless Mesh, Services Settings, Admin User Management, Monitoring Reports, Logs, and System Administration. The main content area is titled 'Multinode' and includes a 'Log Out' link. Below this, the 'Operation Mode' is set to 'Wireless AP/Mesh Mode'. The 'Username' is 'CryptoOfficer' and the 'Role' is 'Crypto Officer'. The 'Host Name' is 'HUGMN203 (192.168.254.203)' and the 'Version' is '4.2.0.8 / RAP110.1-14.0'. The 'Wireless Mesh -> General' tab is selected, showing settings for 'Mesh Mode' (Auto Mesh), 'SSID' (HUG_Mesh), 'Max Direct Links' (40), 'Mesh Priority' (61442), 'RSSI window size' (5), 'Signal Strength Threshold' (39%), 'Link Sensitivity' (15%), and 'Broadcast SSID' (Enable). There are 'Apply' and 'Set' buttons. Below the settings is a table for 'Remote AP's MAC Address' with columns: Index, BSSID, Signal Strength, Link Status, and Description. The footer contains the copyright notice: '© Copyright Honeywell International Inc. 2008. All rights reserved.'

Figura 49. Ventana de configuración del radio Mesh. Fuente: [9]

Se recomienda para este radio usar el estándar 802.11a, usar seguridad del tipo WPA. Si el radio está encendido se indica con el led marcado como **WAN 2** si hay transmisión de datos este led parpadea y la potencia de esta señal se visualiza con el led marcado como **WAN SS** con el siguiente funcionamiento del led:

Led apagado: no hay señal de malla o es demasiado baja.

Led parpadea por aproximadamente 1 segundo: indica que hay conexión pero la señal es pobre.

Led parpadea rápido: hay conexión y la calidad de la señal es buena.

Led encendido continuamente: hay conexión y la calidad de la señal excelente.

5.3.1.5. Cargando Firmware al dispositivo multinodo

Este paso es importante para la configuración del dispositivo y para que posteriormente la aplicación **Wireless Builder** reconozca los equipos en su base de datos.

En la opción **System Administration** se carga el Firmware para el radio Mesh. Este Firmware se encuentra ubicado en la siguiente carpeta:

C:\Program Files\Honeywell\OneWireless\System\Firmware\Multinode-Mesh\4.2.0.8

Se debe verificar que la versión Firmware que corresponda con la misma versión del multinodo indicada en la parte superior de la pantalla, de lo contrario se debe solicitar al proveedor de los equipos. Si el Firmware es el correcto; al final de la descarga el dispositivo lo reconoce e indica que la descarga se ha realizado con éxito, esto puede tardar varios minutos, si la descarga se realiza con éxito debe de aparecer la pantalla mostrando que el procedimiento se realizó exitosamente.

El mismo procedimiento se realiza para el radio FHSS ubicado en la siguiente carpeta:

C:\Program Files\Honeywell\OneWireless\System\Firmware\Multinode-Sensor-Radio\RAP110.1-14.0

5.3.2. Configuración de los transmisores inalámbricos.

El siguiente procedimiento muestra la configuración de los canales de cada instrumento.

En la ventana **Offline** de la aplicación **Wireless Builder** se da doble clic sobre el instrumento y en el canal que se desea configurar, como se indica en la Figura 50,



Figura 50. Ventana del Wireless Builder. Fuente: [10]

En la pestaña de configuración de la Figura 51 se ajustan los parámetros deseados para el canal del instrumento en las pestañas **Main** y **Config**.

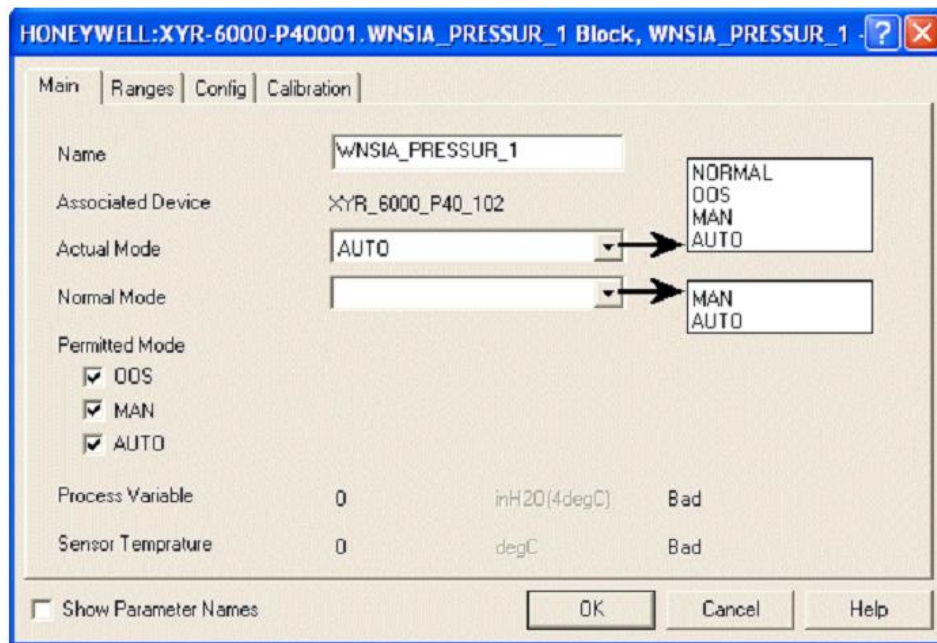


Figura 51. Configuración del transmisor. Fuente: [10]

Se da **OK** y a continuación se carga la configuración dando clic en el botón **Load** de la ventana principal del Wireless Builder mostrado en la Figura 52.

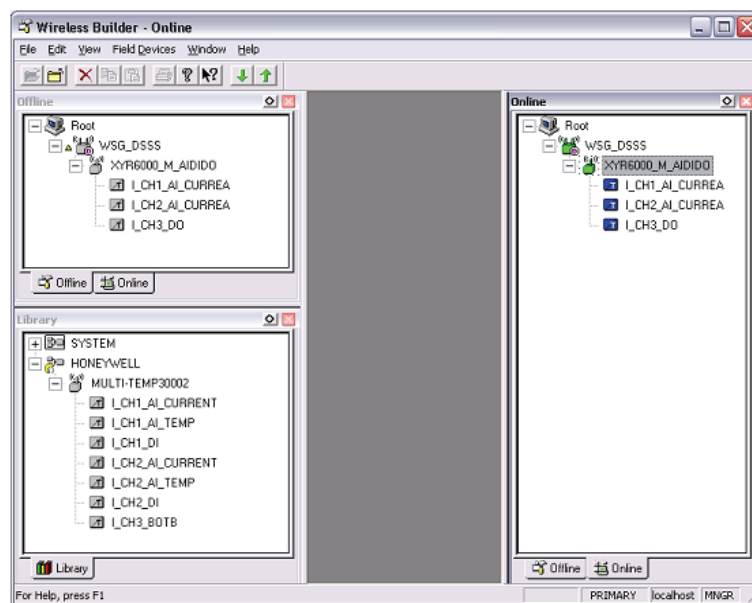


Figura 52. Ventana del Wireless Builder. Fuente: [22]

Aparece la ventana de dialogo de la Figura 53, en el cual se escoge qué canales quedan cargados. Se activa el cuadro **Automatically change ALL** y se da **OK**.

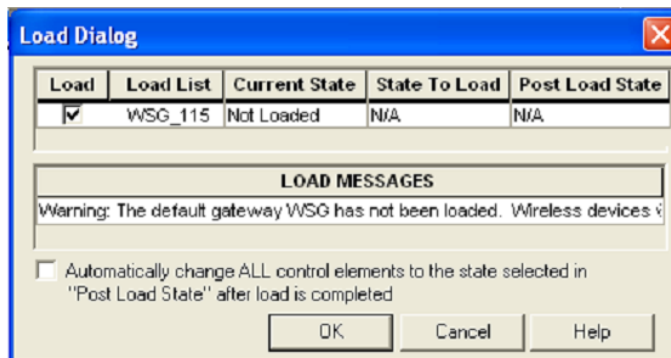


Figura 53. Configuración del transmisor. Fuente: [10]

El dispositivo se carga después de unos minutos Figura 54 y el canal queda disponible si está de color verde y azul en caso de que quede deshabilitado Figura 55.

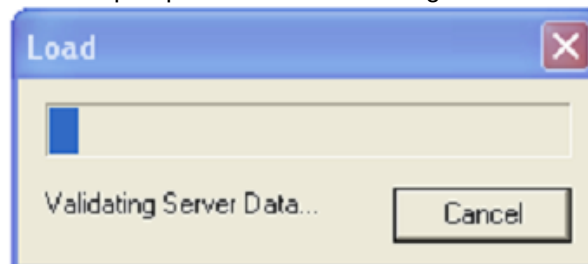


Figura 54. Cargando configuraciones. Fuente: [10]

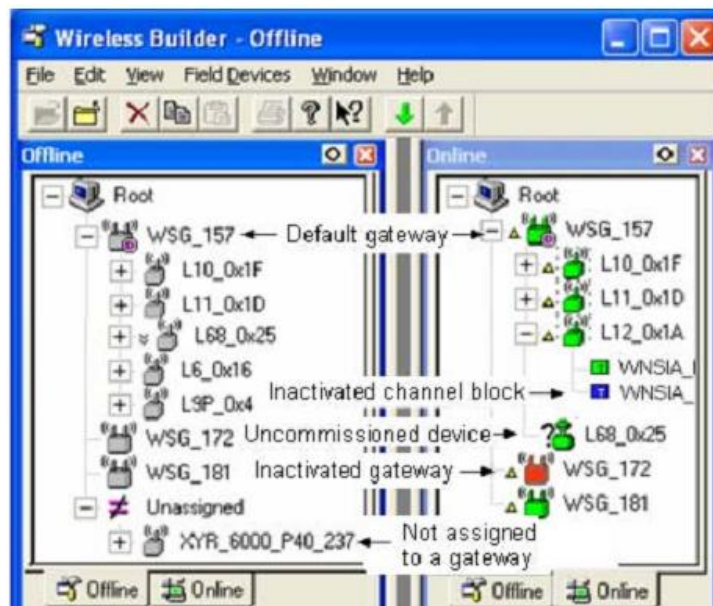


Figura 55. Ventana del Wireless Builder. Fuente: [10]

Se puede ver la variable medida haciendo clic sobre el instrumento en la ventana **Online** en el llamado **Main** mostrado en la Figura 56.

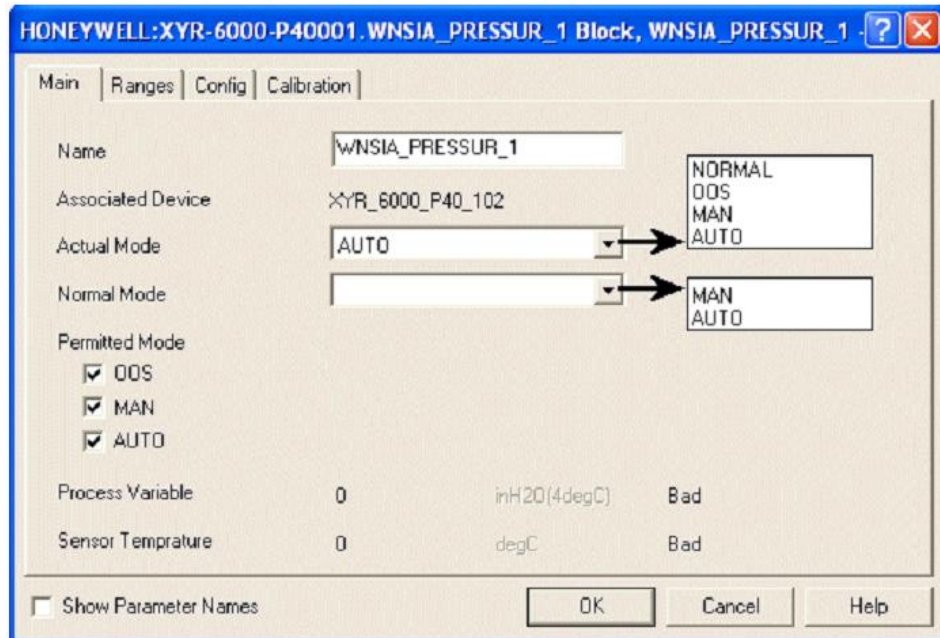


Figura 56. Parámetros del dispositivo. Fuente: [10]

NOTA: Para mayor información sobre la configuración de la instrumentación y las herramientas leer las referencias del 1 al 10

6. Presentación de la propuesta

6.1. Instrumentación convencional

Instrumentación que necesita de cables en ductos desde el sitio de monitoreo hasta la estación de control para la transmisión de datos y su energización, haciendo que tome mucho tiempo su instalación, así como su costo y poco factible el monitoreo de algunas de las variables de proceso debido al lugar o las condiciones en la que se encuentra.

6.1.1. Ventajas de la instrumentación convencional

Las ventajas de utilizar instrumentación convencional para el monitoreo de variables de proceso son:

6.1.1.1. Trasmisión de datos continuos

Debido a que la transmisión de los datos sensados en campo se hace a través del cableado no hay preocupación por tráfico de información ni por la saturación de la misma y la información puede ser enviada en forma continua y disponible permanentemente.

6.1.1.2. Control de cualquier sistemas

Debido a que la información que mide la instrumentación en campo es enviada al dispositivo de control y luego al usuario final, este puede tomar la acción de control de inmediato y prevenir cualquier problema, por eso esta tecnología es usada para monitorear y controlar sistemas críticos.

6.1.1.3. Fácil capacitación

La comprobación y medición de señales analógicas es simple y los sistemas cableados son mas fáciles de diagnosticar y localizar problemas de conectividad, por esta razón se requiere poca capacitación para el manejo de sistemas cableados.

6.1.2. Desventajas de la instrumentación convencional

Las desventajas de utilizar instrumentación convencional para el monitoreo de variables de proceso son:

6.1.2.1. Altos costos de instalación

Para la instalación de la instrumentación convencional se deben tener en cuenta los costos de cableado, ductos, excavación y relleno, por lo que entre mayor sea la distancia a la que se encuentra el instrumento de su respectivo destino, mayor será el costo de instalación de este.

6.1.2.2. Tiempo de instalación

Para la instalación de la instrumentación convencional se debe tener en cuenta el área que se debe escavar y rellenar y la cantidad de ducto y cableado que se debe instalar, esto puede hacer que la instalación de los dispositivos lleve horas e inclusive días si la distancia entre el instrumento y el dispositivo control es grande.

6.1.2.3. Diagnóstico de fallas

Debido a que esta tecnología no cuenta con aplicaciones para diagnóstico de la instrumentación, en el momento de presentarse una falla en el dispositivo se debe dirigir al lugar donde se encuentra instalado para su revisión y determinación de la falla.

6.1.2.4. Equipos adicionales entre los dispositivos y la red industrial

Ya que esta tecnología no se conecta directamente a la red industrial, es necesario utilizar interfaces o PLC entre el instrumento y el sistema de supervisión para poder visualizar las variables en los sitios correspondientes.

6.1.2.5. Cobertura en sitios de difícil acceso

Para la instalación de la instrumentación convencional es necesario acometidas y cableado, por esta razón la medición de variables en lugares muy alejados o de difícil acceso, su instalación y mantenimiento puede llegar a no ser económicamente viable.

6.1.3. Cableado y acometidas para la instrumentación convencional

En el sector productivo de la industria del petróleo y a nivel general es necesario analizarlas condiciones, en cuanto respecta a perturbaciones o distorsiones, que puedan influir en la integridad de la señal ocasionando que la información transmitida no llegue correctamente, debido a lo anterior se debe hacer una correcta selección del cable con el fin de prever estos inconvenientes, para ello hay que tener en cuenta la cantidad de información que se desea transmitir. Las interferencias electromagnéticas también influyen en la transmisión de las señales por lo tanto es útil que el cable esté provisto de una pantalla o blindaje.

Los cables empleados en la instrumentación convencional son 4x2x16 AWG y 4X2X18 AWG respectivamente. Estos cables tienen una vida útil de hasta 20 años si los materiales usados para el aislamiento eléctrico de los conductores se les dan un buen uso en cuanto respecta a que su temperatura de operación no haya sido superada y que sean de buena calidad. Su vida útil se puede ver afectada si pequeñas sobrecargas no son detectadas por el sistema de protección.

Las fallas más comunes que ocasionan la avería de dichos cables son las debidas al aislamiento por sobretensiones y roturas mecánicas.

Los cables de instrumentación mencionados anteriormente contienen en su aislamiento y envoltura plásticos como el PVC (Cloruro de Polivinilo) el cual tiene la capacidad de propagar fácilmente el fuego producido por una sobrecarga eléctrica, un cortocircuito o fuego exterior a ellos.

Por otra parte, las tuberías metálicas empleadas actualmente en la industria del petróleo presentan una serie de problemas como son corrosión por abrasión, fugas en las conexiones, continuo mantenimiento y refuerzo en la pintura anticorrosiva.

Las fallas y problemas en cables y tuberías mencionados anteriormente generan un aumento en las estrategias de mantenimiento requeridas para evaluar la gravedad de

degradación, pérdidas de aislamiento, fugas en conexiones y también mantenimiento en sellos corta fuego.

6.2. Instrumentación inalámbrica

Instrumentación rápida y fácil de implementar para el monitoreo de variables de proceso y disminución en los costos de instalación, debido a que se eliminan las acometidas que los instrumentos necesitan, también se hace factible el monitoreo de variables de proceso en lugares donde antes no era posible.

6.2.1. Ventajas de la instrumentación inalámbrica

Las ventajas de utilizar instrumentación inalámbrica para el monitoreo de variables de proceso son:

6.2.1.1. Eliminación de las acometidas de alimentación y medición

Debido a que la instrumentación se comunica por radio frecuencia usando protocolo IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, e IEEE 802.11g, en las bandas de 2,4GHz y 5,8GHz. Por esta razón no necesita de cableado para el transporte de la señal, ni tampoco alambrado de alimentación ya que los instrumentos trabajan con baterías no recargables que duran hasta 10 años.

6.2.1.2. Configuración y manejo de los dispositivos por medio inalámbrico

El equipo multinodo de Honeywell cuenta con 3 radios inalámbricos que garantizan un barrido de las señales que emiten los instrumentos, un manejo de red inalámbrica y la configuración de las características de la red; todo al mismo tiempo realizado de manera cableada por puerto Ethernet o vía inalámbrica para mayor facilidad y comodidad.

6.2.1.3. Recopilación de datos con mayor facilidad

Debido a que los instrumentos envían la señal de sus datos vía inalámbrica, no se necesita de módulos o de interfaces en los programadores lógicos controlados. Para la lectura de los datos se conecta directamente el multinodo al PLC o a la red industrial, manejando de 20 hasta 100 transmisores por cada equipo multinodo.

6.2.1.4. Diagnostico de fallas en la instrumentación de manera remota

Gracias a los aplicativos que trae adjunta la instrumentación, se puede saber, de manera remota, si un instrumento esta en falla. Específicamente la aplicación Wireless Builder muestra el estado del instrumento indicando las fallas cuando estas se presentan; también este programa muestra el estado y la calidad de la señal enviada por el transmisor.

6.2.1.5. Equipos adicionales entre el transmisor y la red industrial no son necesarios

Estos equipos usan tecnología de radiofrecuencia para la transmisión de los datos, por lo cual no es necesario la instalación de acometidas y cables para su funcionamiento; sino que únicamente se debe de instalar el instrumento cerca a la variable de proceso a medir y ésta es enviada al dispositivo multinodo, que está directamente conectado a la red, adecuando la señal recibida para que el sistema de supervisión guarde los históricos y

visualice la variable en los sitios correspondientes, eliminando el uso de interfaces o PLC entre el instrumento y el sistema de supervisión.

6.2.1.6. Los equipos inalámbricos permiten integración de dispositivos como sensores, equipos portátiles y sistemas de seguridad

Debido a la variedad de transmisores inalámbricos ofrecido por Honeywell se pueden conectar diversos sensores a los transmisores como termocuplas, RTD's, cualquier señal analógica de 0 a 20 mA o de 0 a 5V, medidores de corrosión, etc. Cada uno a su transmisor respectivo. También se puede conectar computadores vía inalámbrica para la configuración de los equipos multinodos y transmisores.

Estos equipos vienen con sus respectivos sistemas de seguridad inalámbricos, WPA (Wi-Fi Protected Access) Y WEP (Wired Equivalent Privacy), usados por los protocolos mencionados anteriormente (IEEE802.11) para este tipo de redes o enlaces WiFi.

6.2.1.7. Cobertura en sitios de difícil acceso

Debido a que los instrumentos se comunican de forma inalámbrica y son alimentados por baterías con una vida útil de 10 años no necesitan cableado para la transferencia de datos y alimentación. Por eso son ideales para medir en lugares de difícil acceso o donde su instalación y mantenimiento es muy costoso.

6.2.1.8. Reducción de tiempo y costos de instalación

Gracias a que la instrumentación no necesita de cableado y acometidas para su instalación, se eliminan los costos de excavación y cableado y la montura de los instrumentos será más fácil y rápida, ya que lo que antes tomaba horas y hasta días, ahora solo tomará algunos minutos debido a que solo se debe instalar el instrumento en el lugar deseado y conectado a la variable de interés.

6.2.2. Desventajas de la instrumentación inalámbrica

Las desventajas de utilizar instrumentación inalámbrica para el monitoreo de variables de proceso son:

6.2.2.1. Tiempo de actualización amplio para la transmisión de datos

Debido a que la información es enviada por radio frecuencia se debe tener en cuenta el la capacidad de transmisión y recepción de datos que disponga los radios en campo para evitar que se saturen, por este motivo la actualización de los datos debe hacer en tiempo mayores de 1 segundo y en ocasiones hasta de minutos

6.2.2.2. Interferencia en la transmisión de datos

La potencia de transmisión y el rango de cobertura son afectados cuando existen obstáculos entre el instrumento y el radio multinodo que impiden tener una línea de vista directa, si el obstáculo es muy grande puede ocasionar que el radio y el instrumento no se comuniquen.

6.2.2.3. Pérdida o daños en la base de datos del servidor

Si la base de datos del servidor donde se encuentra almacenada toda la información de configuración y las llaves de seguridad de los dispositivos es dañada o borrada o si el servidor es desconectado del WSG, el WSG no se podrá comunicar con los transmisores

en campo, cuando la base de datos es dañada o borrada se debe hacer de nuevo todo el proceso de configuración desde el principio.

6.2.2.4. Control en sistemas de alto riesgo

Debido a que la información llega primero al radio multinodo y luego a los demás dispositivos de control, esta instrumentación no se recomienda para hacer control en zonas críticas debido al retardo que tiene la información para llegar al dispositivo de control, ya que este retardo puede ocasionar que no se lleve el control del proceso a tiempo.

6.3. Relación de costos

A continuación se presenta el costo para la propuesta de la implementación de instrumentación inalámbrica e instrumentación cableada para un rango de distancias lineales, para la instrumentación inalámbrica se planteará el mismo diseño para cada pozo el cual consta de dos transmisor de presión STGW944, un transmisor de entradas analógicas STIW600, un transmisor de temperatura STT400 y un radio multinodo.

Tabla 7. Relación de costos para un pozo

INALÁMBRICOS	CANT	PRECIO (pesos)	TOTAL (pesos)
Multinodo	1	14 46 8872	14 468 872
Transmisor de presión STGW944	2	6 329 584	12 659 168
Transmisor de entradas analógicas STIW600	1	4 932 932	4 932 932
Transmisor de temperatura STT400	1	4 932 932	4 932 932
		TOTAL	36 993 904
CABLEADA	CANT	PRECIO (pesos)	TOTAL (pesos)
Transmisor de presión	2	1 451 000	2 902 000
PLC micrologix 1100 AB	1	923 058	923 058
Módulo de expansión 1762 AB	1	514 000	514 000
Excavación (metro cúbico)	115	160 753	18 486 595
Relleno (metro cúbico)	115	50 417	5 197 955
Cableado (metro)	115	10 150	1 167 250
Ducteria de 3/4 (metro)	115	21 355	2 455 825
		TOTAL	32 246 683

Tabla 8. Relación de costos para cinco (5) pozo

INALÁMBRICOS	CANT	PRECIO (pesos)	TOTAL (pesos)
Multinodo	5	14 468 872	72 344 360
Transmisor de presión STGW944	10	6 329 584	63 295 840
Transmisor de entradas analógicas STIW600	5	4 932 932	24 664 660
Transmisor de temperatura STT400	5	4 932 932	24 664 660
		TOTAL	184 969 520
CABLEADA	CANT	PRECIO (pesos)	TOTAL (pesos)
Transmisor de presión	10	1 451 000	14 510 000
PLC micrologix 1100 AB	5	923 058	4 615 290
Módulo de expansión 1762 AB	5	514 000	2 570 000
Excavación (metro cúbico)	1000	160 753	160 753 000
Relleno (metro cúbico)	1000	50 417	50 417 000
Cableado (metro)	1000	10 150	10 150 000
Ducteria de 3/4 (metro)	1000	21 355	21 355 000
		TOTAL	264 370 290

Tabla 9. Relación de costos para diez (10) pozos.

INALÁMBRICOS	CANT	PRECIO (pesos)	TOTAL (pesos)
Multinodo	10	14 468 872	144 688 720
Transmisor de presión STGW944	20	6 329 584	126 591 680
Transmisor de entradas analógicas STIW600	10	4 932 932	49 329 320
Transmisor de temperatura STT400	10	4 932 932	49 329 320
		TOTAL	369 939 040
CABLEADA	CANT	PRECIO (pesos)	TOTAL (pesos)
Transmisor de presión	20	1 451 000	29 020 000
PLC micrologix 1100 AB	10	923 058	9 230 580
Módulo de expansión 1762 AB	10	514 000	5 140 000
Excavación (metro cúbico)	2000	160 753	321 506 000
Relleno (metro cúbico)	2000	50 417	100 834 000
Cableado (metro)	2000	10 150	20 300 000
Ducteria de 3/4 (metro)	2000	21 355	42 710 000
		TOTAL	528 740 580

A continuación se presenta en la Figura 57 la relación de costos de 1 a 10 pozos cada uno espaciado a una distancia de 200 m, y en la Figura 58 se puede observar la diferencia de los costos en la implementación entre la instrumentación cableada y la instrumentación inalámbrica de 1 a 10 pozos.

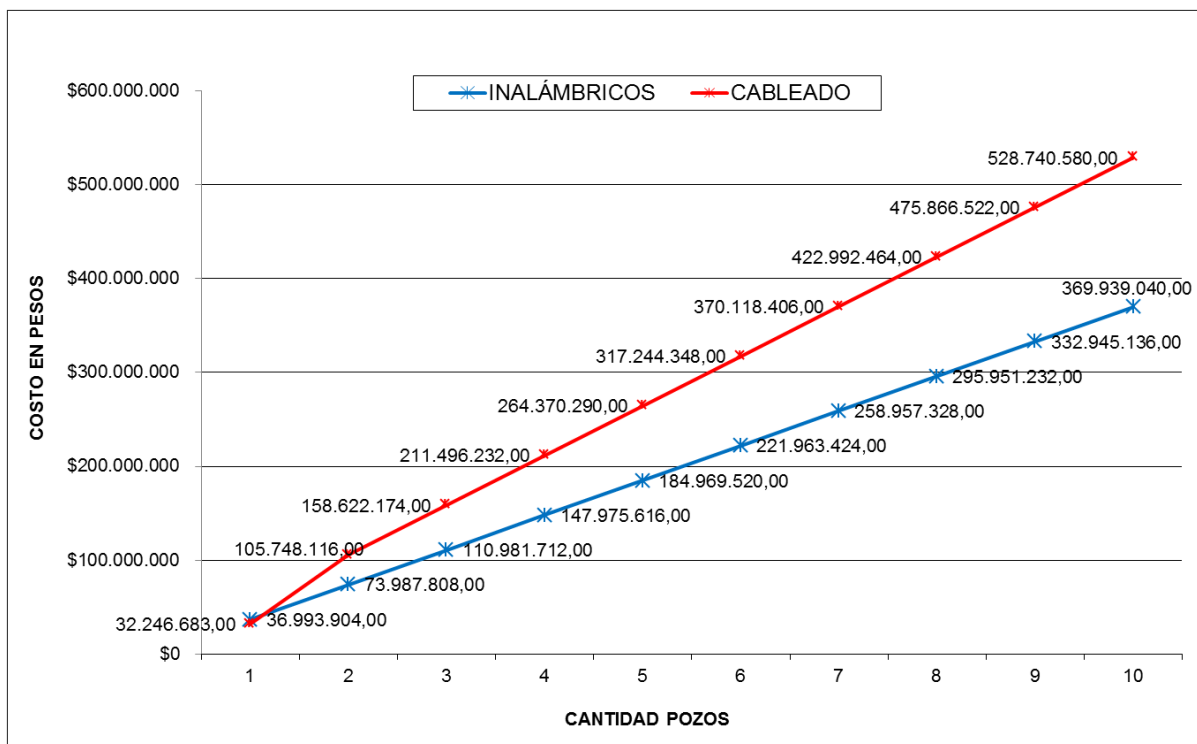


Figura 57. Grafica relación de costos. Fuente: Autores

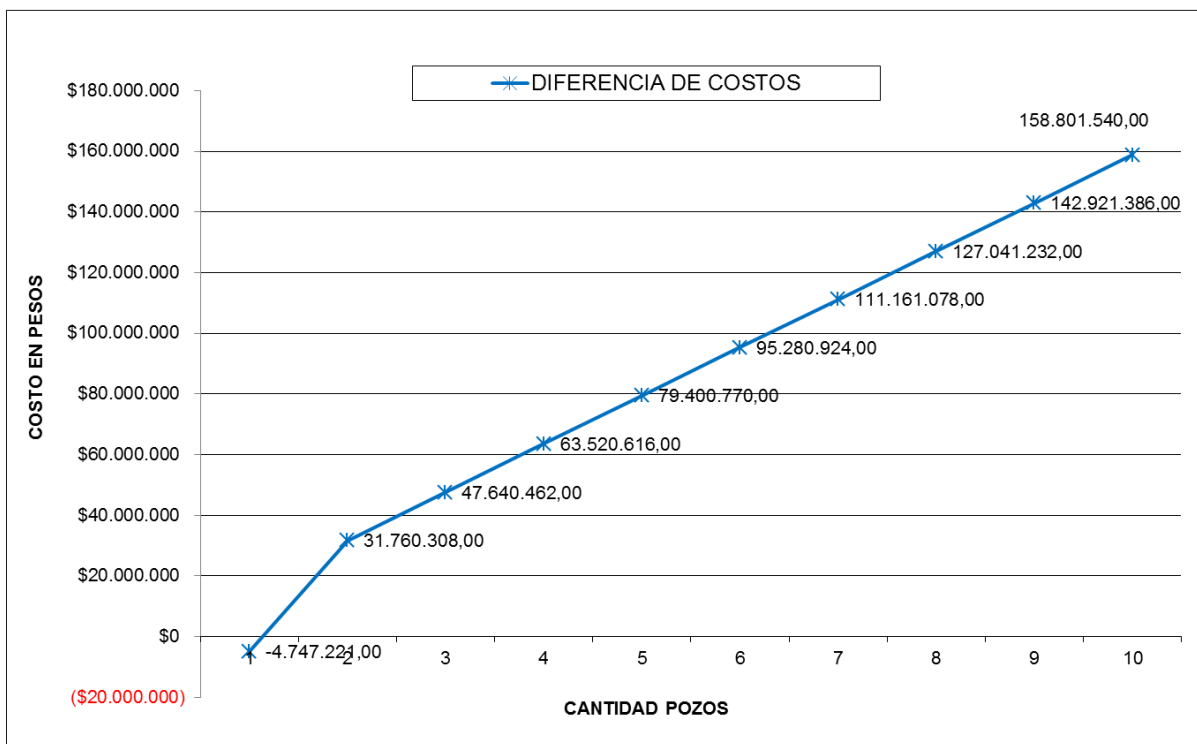


Figura 58. Diferencia de costos entre instrumentación inalámbrica y cableada. Fuente: Autores

6.4. Conclusiones, observaciones y recomendaciones

- Los transmisores permiten a los usuarios la obtención de datos y crear la información de los lugares de medición remotos y peligrosos, sin necesidad de utilizar cables de conexionado. Los transmisores pueden ser instalados y estar en funcionamiento en cuestión de minutos, proporcionan rápidamente información a los usuarios del sistema.
- El transmisor de entradas analógicas de Honeywell permiten a los usuarios convertir los dispositivos de medición existentes en soluciones inalámbricas sin necesidad de reemplazar el equipo. Estos transmisores inalámbricos aumentan la flexibilidad de las aplicaciones de monitorización, mejorando así la eficiencia de los procesos y disminuyendo costos de instalación.
- El transmisor de entrada analógica reduce drásticamente los costos de instalación y da lugar a importantes mejoras de eficiencia de mano de obra en la puesta en marcha y las funciones de mantenimiento. Los usuarios se benefician de una mayor flexibilidad en aplicaciones de vigilancia, especialmente aquellos que son a distancia, requiere la reconfiguración frecuente o no tienen acceso a la energía eléctrica.
- De acuerdo a la información suministrada por Honeywell, los equipos son robustos, intrínsecamente seguros, son fáciles y rápidos de instalar, así como también son fáciles de configurar.
- Esta instrumentación es ideal para monitoreo en sitios de difícil acceso ya que no requieren de ducterías y los equipos se pueden inspeccionar de manera remota.
- Los costos que más se reducen son los relacionados con excavación, relleno, ductería y cableado, debido a que los instrumentos son alimentados por medio de baterías y la información es enviada inalámbricamente.
- En la información suministrada por Honeywell se estipula que la distancia máxima de enlace entre multinodo y transmisor utilizando antena de alta ganancia para el dispositivo de campo es de 1 Km, sin embargo al emplear el transmisor con dicha antena estaría trabajando al límite de su potencia por lo cual se verá afectada la vida útil de la batería, por esta razón se plantea implementar un radio multinodo por pozo.
- Una de las ventajas más considerables en la implementación de instrumentación inalámbrica, es el hecho de que esta instrumentación no necesita de acometidas para su energización y transmisión de datos, lo que hace más fácil y rápida su instalación, así como la facilidad de agregar un instrumento en cualquier etapa del proceso sin afectarlo.
- Debido a que los transmisores envían primero la información al multinodo y no al dispositivo de control, esto provoca un retardo en la realimentación de la información por lo que aun no se recomienda esta tecnología para control de variables en zonas de alta criticidad.

- En la grafica de costos (Figura 57), se puede observar un notable aumento en los costos de instalación de la instrumentación convencional debido a que lo que mas afecta este incremento son los precios de excavación, relleno, ducteria y cableado como se ve en las Tablas 7, 8, 9, los cuales intervienen directamente ya que dependen de las distancias a que se encuentran ubicados los pozos. Por otra parte se ve un aumento en el ahorro que la tecnología inalámbrica puede ofrecer, a medida que la cobertura y la cantidad de pozos sea mayor.
- Gracias a que la instrumentación inalámbrica no necesita acometidas para su funcionamiento, la instalación que antes duraba días, hasta semanas ahora duraría horas y debido a que son fáciles de instalar y de configurar la cantidad de personal puede llegar a ser reducida a solo un técnico para llevar a cabo el proceso, también se evita el mantenimiento por los daños ocasionados por roedores o por deterioro en los cables y/o ductos.
- La tecnología inalámbrica cuenta con un sistema de autodiagnóstico lo que permite inspeccionar los dispositivos de manera remota y así saber cuando el instrumento presente algún problema o falla, y de esta manera poder realizar un mantenimiento preventivo de ser requerido, aunque se debe tener en cuenta que dicho mantenimiento solo es referente a los dispositivos de campo ya que estos no cuentan con acometidas, mientras que para la instrumentación cableada este mantenimiento se puede extender a las acometidas, ya sea para el sistema de alimentación o de comunicación.
- Esta tecnología ayuda a la preservación del medio ambiente, como no requiere ningún tipo de cableado o de ducteria en el momento de ser retiradas o de que el pozo sea abandonado no se dejara ningún residuo de estos materiales.

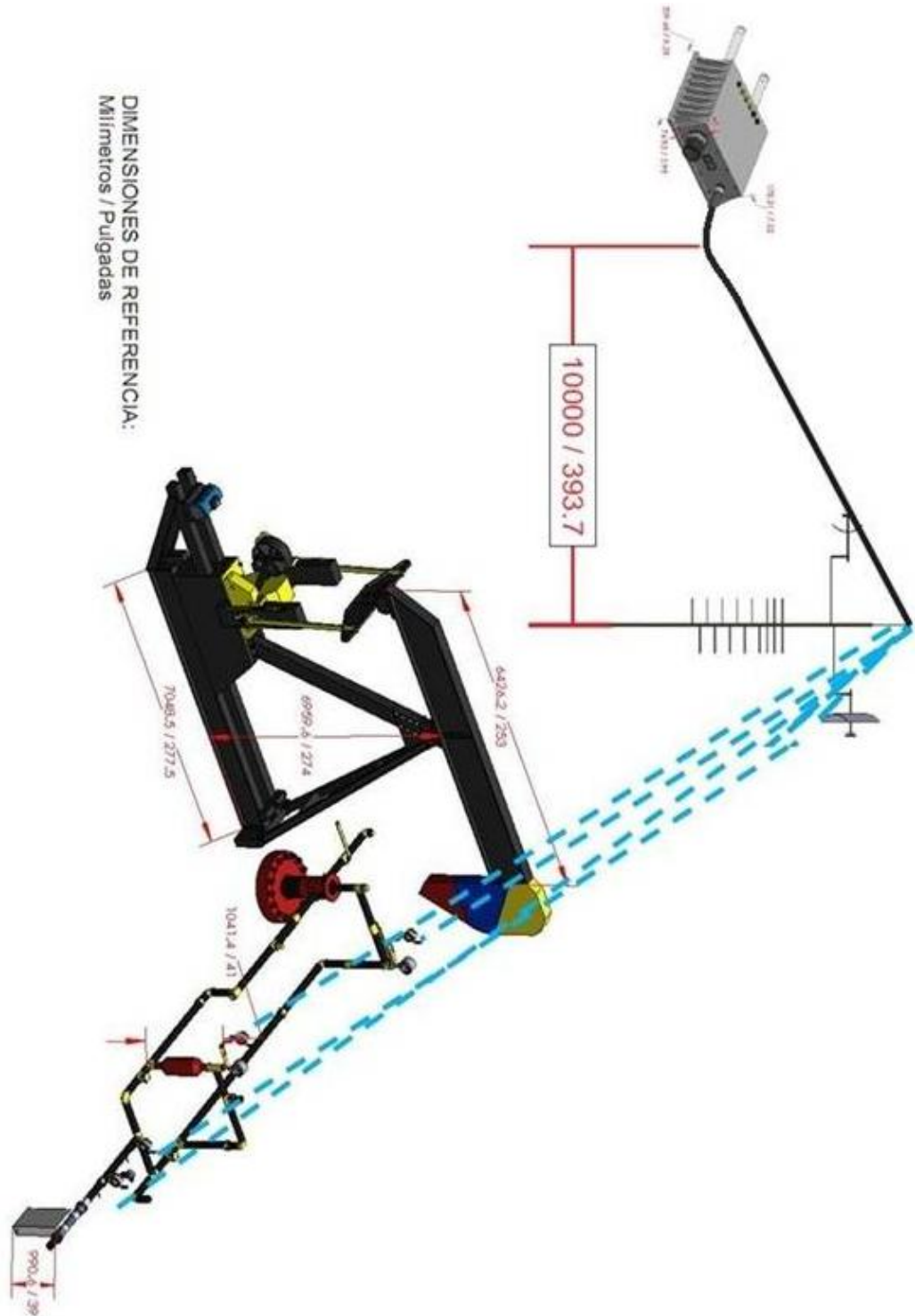
Referencias bibliográficas

- [1] *Equipos y controles industriales S.A, Guía de manejo Wireless Builder. 2010.*
- [2] *Equipos y controles industriales S.A, Guía de instalación Honeywell OneWireless. 2010.*
- [3] *Honeywell, Getting Started with Honeywell OneWireless, OW-CDX010. 2007.*
- [4] *Honeywell, OneWireless XYR 6000 Pressure Transmitter User's Manual, 34-XY-25-15. 2008.*
- [5] *Honeywell, OneWireless XYR 6000 Temperature and Temperature/Discrete Input Transmitter User's Manual, 34-XY-25-16. 2008.*
- [6] *Honeywell, XYR 6000 HLAI Transmitter User's Manual, 34-XY-25-17. 2008.*
- [7] *Honeywell, OneWireless XYR 600 Transmitter Quick Start Guide, 34-XY-25-21. 2008.*
- [8] *Honeywell, OneWireless System Administration Guide, OW-CDX040. 2008.*
- [9] *Honeywell, OneWireless Multinode User's Guide, OW-CDX050. 2008.*
- [10] *Honeywell, OneWireless Wireless Builder User's Guide, OW-CDX060. 2008.*
- [11] *L-com, Hyperlink Wireless brand 2,4 GHz 4 dBi, High Performance Omnidirectional Wireless LAN Antenna - Model: HGV-2404U*
- [12] *L-com, Hyperlink Wireless brand 2,4 GHz 8 dBi, High Performance Omnidirectional Wireless LAN Antenna - Model: HGV-2409U*
- [13] *L-com, Hyperlink Wireless 2,4 GHz 14 dBi Backfire, Wireless LAN Antenna - Model: HG2414D*
- [14] *L-com, Hyperlink Wireless 2,4 GHz 20 dBi 120 Degree Sector Panel Wireless LAN Antenna – Model: HG2420P-120*
- [15] *MITCHELL George. Instrumentación sin Hilos. ISA Sección Española.*
- [16] *MARAÑÓN Gonzalo, PÉREZ Pedro. Seguridad en Redes Inalámbricas WiFi. 2009.*
- [17] *Endress+Hauser, RTD Temperature Sensor Omnigrad T TR 25*
- [18] *Honeywell, XYR 6000 High Level Analog Input Transmitter Specifications, 34-XY-03-30. 2010.*
- [19] *Honeywell, XYR 6000 Wireless Gauge Pressure Transmitter Specifications, 34-XY-03-24. 2010.*

- [20]Honeywell, *XYR 6000 Wireless Temperature Transmitter Specifications*, 34-XY-03-29. 2010.
- [21]Honeywell, *OneWireless Multinode/Wireless System Gateway Specifications*, EP03-625-120.
- [22]Honeywell, *OneWireless server Specifications*, EP03-620-120. 2009.
- [23]Honeywell, *OneWireless Planning Guide*, OW-CDX030. 2008.
- [24]http://chelyabinsk.freeadsin.ru/content/visitor/images/201003/f20100311091324-hp_2490b.jpg.
- [25]<http://assysltd.blogspot.com/2012/02/equipos-motorola-mesh.html>.

Anexos

Anexo A. Plano en 3D



Anexo B. P&ID de C-67 con instrumentación inalámbrica

