

**ANÁLISIS DE SISTEMAS INALÁMBRICOS EN LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, E  
IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE INALÁMBRICO**

**JAIRO MANUEL GOMEZ CARRASCAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACION EN TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2006**

**ANÁLISIS DE SISTEMAS INALÁMBRICOS EN LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, E  
IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE INALÁMBRICO**

**JAIRO MANUEL GOMEZ CARRASCAL**

**Monografía para optar al título de  
Especialista en Telecomunicaciones**

**Director**

**Ing. MILTON ALEXANDER VELASQUEZ LOMBANA  
Especialista en Telecomunicaciones**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
ESPECIALIZACION EN TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2006**

## DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de continuar mi crecimiento profesional,  
A mi novia por ser la fuerza y soporte para cumplir mis metas,  
A mis padres, hermanos y mi familia por brindarme todo  
su apoyo, y comprensión en esta etapa de mi vida,  
A mi nona, que desde el cielo cuida y vela por mí.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION.....	14
1. ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INALAMBRICAS.....	16
1.1 HISTORIA DE LAS REDES INALAMBRICAS.....	16
1.2 TECNICAS DE COMUNICACIÓN INALAMBRICA.....	16
1.3 ALGUNOS ESTANDARES PARA INLAMBRICAS.....	17
1.4 TIPOS DE REDES INALAMBRICAS.....	18
1.4.1 Wireless WAN (Wide Area Network).....	18
1.4.2 Wireless MAN (Metropolitan Area Network) 802.16.....	18
1.4.3 Wireless LAN (Local Area Network) 802.11.....	18
1.4.4 Wireless PAN (Personal Area Network) 802.15.....	19
1.5 ESPECTRO EXPANDIDO (SPREAD SPECTRUM).....	19
1.5.1 Frequency Hopping Spread Spectrum (“FHSS”).....	19
2. ANALISIS DE SITEMAS INLAMBRICOS EN LA INDUSTRIA.....	21
2.1 TECNOLOGIA DE REDES INALAMBRICAS.....	21

2.1.1 Estándares.....	21
2.1.2 Wi-Fi.....	22
2.1.3 Bluetooth.....	23
2.1.4 Redes inalámbricas vs redes alámbricas.....	24
2.1.4.1 Desvanecimiento y pérdida de la señal.....	24
2.1.4.2 Distorsión de multicaminos (multipath).....	25
2.1.4.3 Ondas de radio compartidas.....	25
2.1.5 Tecnología de antenas.....	29
2.1.5.1 Tamaño de la antena.....	29
2.1.5.2 Antena omnidireccional.....	29
2.1.5.3 Antena direccional.....	30
2.1.5.4 Antena plana.....	31
2.1.5.5 Antena de arreglo escalonado.....	32
2.1.6.Topología de redes inalámbricas.....	32
2.1.6.1 Estrella.....	32
2.1.6.2 Árbol.....	33
2.1.6.3 Malla.....	34

2.2 ESTANDARES DE RED INALAMBRICA.....	35
2.2.1 Wireless Local Area Networks (WLAN).....	36
2.2.1.1 Wi-Fi a/b/g.....	36
2.2.2 Wireless Personal Area Networks (WPAN).....	37
2.2.2.1 ZigBee.....	38
2.2.3 Convergencia de redes de voz y datos.....	41
2.3 REQUERIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL.....	42
2.3.1 Ambiental.....	42
2.3.2 Seguridad.....	43
2.3.3 Privacidad.....	43
2.3.4 Confiabilidad.....	44
2.3.5 Potencia.....	44
2.4 APLICACIÓN DE REDES A LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL.....	44
2.4.1 Políticas para inalámbricas.....	44
2.4.2 Wi-Fi.....	46
2.4.3 Bluetooth.....	47
2.4.4 ZigBee.....	47

2.4.5-3G para la automatización.....	48
2.5 TECNOLOGIAS FUTURAS.....	49
2.5.1 Redes a partir de los sensores.....	50
2.5.2 Potencia para dispositivos de red.....	50
2.5.2.1 Óptico.....	51
2.5.2.2 Potencia neumática.....	51
2.5.2.3 Inducción magnética.....	51
2.5.2.4 Transmisión de energía inalámbrica.....	52
2.5.2.5 Conversión de energía gastada.....	52
2.5.3 Noticias significativas para las redes inalámbricas.....	52
3. INGENIERIA CONCEPTUAL PARA AUTOMATIZACION DE CONTROL DE NIVEL DE CAJAS DE AGUAS LLUVAS Y ACEITOSAS FASE I.....	53
4. CONCLUSIONES.....	54
5. RECOMENDACIONES.....	56
GLOSARIO.....	58
BIBLIOGRAFIA.....	61
ANEXOS.....	62

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Frequency Hopping Spread Spectrum ("FHSS").....	20
Figura 2. Cronología de WI-FI.....	23
Figura 3. Antena omnidireccional.....	30
Figura 4. Antena YAGI.....	31
Figura 5. Antena Parabólica.....	31
Figura 6. Topología estrella alámbrica.....	32
Figura 7. Topología árbol inalámbrica.....	34
Figura 8. Topología malla inalámbrica.....	35
Figura 9. Arquitectura ZigBee.....	39
Figura 10. Estructura FRAME para IEEE 802.15.4.....	40
Figura 11. Operación de bandas de frecuencia.....	41
Figura 12. Topología de una red ZigBee.....	41

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Campo de acción de los subcomités inalámbricos de IEEE 802.....	36
Tabla 2. Comparación de WLAN.....	36

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. INGENIERÍA CONCEPTUAL PARA AUTOMATIZACIÓN DE CONTROL DE CAJAS DE AGUAS LLUVIAS Y ACEITOSAS FASE I.....	63
Anexo B. PAPERS SOBRE INALÁMBRICAS EN LA INDUSTRIA.....	64
Anexo C. TRANSMISIÓN INALÁMBRICA VÍA RADIO PHOENIX CONTACT.....	79
Anexo D. DATA SHEETS TRANSMISORES INALÁMBRICOS.....	81

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE SISTEMAS INALÁMBRICOS EN LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE INALÁMBRICO \*

**AUTOR:** JAIRO MANUEL GOMEZ CARRASCAL\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Inalámbricas en la industria, redes inalámbricas para la automatización, WLAN en la industria, enlace inalámbrico en la industria, análisis de inalámbricas.

**DESCRIPCIÓN:** Las redes comerciales y residenciales están evolucionando rápidamente a redes inalámbricas. Migrar a inalámbricas significa más que solamente reemplazar algunos componentes alámbricos, por componentes inalámbricos. Con los bajos precios de hoy día, es fácil justificar el uso de componentes inalámbricos en las redes residenciales, para evitar la instalación costosa o antiestética de las redes alámbricas. Pero en las oficinas todavía es una mejor opción la instalación de redes alámbricas debido a los problemas ya conocidos de cobertura y privacidad de las redes inalámbricas.

La aplicación de inalámbricas en la industria trae consigo estas mismas restricciones, pero con requerimientos adicionales para que los sistemas de comunicaciones sean seguros y nunca fallen. Hoy día el costo de las redes alámbricas industriales es tan alto como el de una inalámbrica, por lo cual esta última alternativa es viable. Este documento trata de la tecnología disponible de las comunicaciones inalámbricas para la industria, desde la perspectiva de fábrica y la automatización del proceso. En él se incluye el análisis de tecnologías, estándares, requerimientos, aplicaciones, tendencias y apreciaciones de las redes inalámbricas en la automatización industrial. Dado que esta tecnología esta cambiando rápidamente, estas apreciaciones podrían cambiar a futuro.

Adicionalmente este documento propone una alternativa de un enlace inalámbrico en un aplicación de la industria de proceso del petróleo: "Ingeniería Conceptual para Automatización de Control de Nivel de Cajas de Aguas Lluvias y Aceitosas".

---

\* Trabajo de grado

\*\* Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Telecomunicaciones

Director: Ing. Milton Alexander Velásquez Lombana

## ABSTRACT

**TITLE:** ANALYSIS OF WIRELESS SYSTEMS IN THE INDUSTRIAL AUTOMATION, AND IMPLEMENTATION OF A WIRELESS LINK \*

**AUTHOR:** JAIRO MANUEL GÓMEZ CARRASCAL \* \*

**KEY WORDS:** Wireless in the industry, wireless networks for the automation, WLAN in the industry, wireless link in the industry, analysis of wireless.

**DESCRIPTION:** Commercial and residential networks are rapidly becoming wireless. Going wireless means more than just plugging in some wireless components to replace the wires. At today's low prices, it is easy to justify using wireless components in residential networks to avoid costly or unsightly installation of wiring. But in the offices it is still a better option the installation of wire networks due to the problems already well-known of covering and privacy of the wireless networks.

The application of wireless in industrial manufacturing entails these same constraints but with the additional requirement that the communications system be secure and never fail. Nowadays the cost of the industrial wire networks is as high as that of a wireless one, reason why this last alternative is viable. This document is about the available technology of the wireless communications for the industry, from the factory perspective and the automation of the process. In him the analysis of technologies, standard, requirements, applications, tendencies and appreciations of the wireless networks in the industrial automation, is included. Since this technology this changing quickly, these appreciations could change to future.

Additionally this document proposes an alternative of a wireless link in an application of the industry of process of the petroleum: "Conceptual engineering for Automation of Control of Level of Boxes of Waters Rains and Oily".

---

\* Degree Project

\*\* Electric, Electronic and Telecommunications Engineering School. Specialization of Telecommunications.

Director: Eng. Milton Alexander Velásquez Lombana

## INTRODUCCION

Uno de los ítems más costosos en la instrumentación y control de cualquier proceso industrial es la instalación y conexión de cables. De hecho, la mayoría del esfuerzo de las redes se ha enfocado entorno a los sensores (smart) y al bus de campo, en términos de instalación del cableado y su mantenimiento a largo plazo. Muchas de las fallas en las redes alámbricas industriales se originan en fallas en el cableado y los conectores. Por tal razón, hay un fuerte interés en la tecnología inalámbrica porque reduce el costo de la instalación y el mantenimiento. Es más, las redes inalámbricas también resuelven otro problema que se encuentra en algunas plantas petroleras y químicas, garantizando la seguridad intrínseca.

En muchas aplicaciones, la tecnología inalámbrica ha empezado a desplazar a su equivalente alámbrico. A principios del 2004, pequeñas redes de oficina y residenciales se había vuelto un mercado en auge gracias a lo completamente económico y confiable que son las redes LANs inalámbricas basadas en tecnología Wi-Fi. Las expectativas de la industria son más que una oficina pequeña o una casa y exige mucho más. Aunque pueda ser dos a tres veces la diferencia en el precio de venta entre los puntos de acceso Wi-Fi para la casa y la fabrica, toda la infraestructura tendida por el suelo costará mucho más, a fin de proporcionar la confiabilidad y desempeño en la demanda de todos los procesos en la industria.

No todo es favorable para las inalámbricas, cualquiera que sea la inversión en la tecnología inalámbrica hoy día será obsoleta en tres años. No todos los cambios en el mercado inalámbrico son debidos a la tecnología. Muchos cambios provienen de las decisiones de organizaciones que establecen las normas, al realizar aprobaciones de nuevos estándares.

¿Por qué los precios y otras decisiones del mercado comercial afectan los productos tecnológicos del mercado industrial? Hay dos factores: el volumen relacionado con el costo y la confiabilidad.

Cuando el consumidor, el mercado comercial y los volúmenes de ventas se acercan a los millones de unidades, el costo para todas las versiones, de esta tecnología decrece en todos los mercados. Fabricar una unidad para el mercado industrial siempre cuesta más que fabricar para un consumidor o un mercado comercial, pero el costo del producto para una versión industrial seguirá bajando cuando el volumen global de ventas suba. Hoy día en el mercado de las comunicaciones inalámbricas, los productos se implementan con circuitos very large scale integrated (VLSI), permitiéndole al proveedor agregar valor en el software, empaquetamiento, y suministro de potencia.

La confiabilidad de casi todos los dispositivos inalámbricos a nivel del consumidor, comercial, e industrial han sido tan buenos que es difícil encontrar una diferencia apreciable entre ellos, excepto en el área de protección ambiental. Los productos industriales por lo general necesitan protección para altas y bajas temperaturas, alta vibración, y en algunos casos a ataques de corrosión por productos químicos. Esta alta confiabilidad resulta del hecho de que la mayoría de los circuitos críticos se encuentran localizados en componentes basados en VLSI, por lo que los fabricantes han ganado una considerable experiencia en la fabricación de estos productos a grandes volúmenes.

La combinación de alta confiabilidad y bajos precios han hecho asequible, incluso a nivel de consumidor, los componentes inalámbricos en aplicaciones para desarrollos comerciales e industriales.

## 1. ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES INALÁMBRICAS

### 1.1 HISTORIA DE LAS REDES INALÁMBRICAS

El origen de las LAN inalámbricas (WLAN) se remonta a la publicación en 1979 de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados, publicados en el volumen 67 de los Proceedings del IEEE, pueden considerarse como el punto de partida en la línea evolutiva de esta tecnología.

Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas, donde se utilizaba el esquema del "spread-spectrum" (espectro disperso), siempre a nivel de laboratorio. En mayo de 1985 la FCC (Federal Communications Commission) asignó las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) 902-928 MHz, 2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz a las redes inalámbricas basadas en spread spectrum (espectro disperso). ISM es una banda para uso comercial sin licencia: es decir, la FCC simplemente asigna la banda y establece las directrices de utilización, pero no se involucra ni decide sobre quién debe transmitir en esa banda. La asignación de una banda de frecuencias propició una mayor actividad en el seno de la industria: ese respaldo hizo que las WLAN empezaran a dejar ya el laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado.

Desde 1985 hasta 1990 se siguió trabajando ya más en la fase de desarrollo, hasta que en mayo de 1991 se publicaron varios trabajos referentes a WLAN operativas que superaban la velocidad de 1 Mbps, el mínimo establecido por el IEEE 802 para que la red sea considerada realmente una LAN.

### 1.2 TÉCNICAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Las cuatro técnicas más comunes y utilizadas en las redes inalámbricas actualmente son: microondas, infrarrojos, radio y láser.

Las **microondas** son ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se encuentran dentro del espectro de las súper altas frecuencias, SHF, utilizándose para las redes inalámbricas la banda de los 18-19 GHz. Estas redes tienen una propagación muy localizada y un ancho de banda que permite alcanzar los 15 Mbps.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> La red Rialta de Motorola es una red de este tipo, la cual va a 10 Mbps y tiene un área de cobertura de 500 metros

Las redes **infrarrojas** suelen estar dirigidas a oficinas o plantas de oficinas de reducido tamaño. Algunas empresas, van un poco más allá, transmitiendo datos de un edificio a otro mediante la colocación de antenas en las ventanas de cada edificio. Los infrarrojos son ondas electromagnéticas que se propagan en línea recta, siendo susceptibles de ser interrumpidas por cuerpos opacos. Su uso no precisa licencias administrativas y no se ve afectado por interferencias radioeléctricas externas, pudiendo alcanzar distancias de hasta 200 metros entre cada emisor y receptor. Por otro lado, las transmisiones infrarrojas presentan la ventaja, frente a las de radio, de no transmitir a frecuencias bajas, donde el espectro está más limitado, no teniendo que restringir, por tanto, su ancho de banda a las frecuencias libres.<sup>2</sup>

Red por **radio** es aquella que emplea la radiocomunicación como medio de unión de las diversas estaciones de la red. Es un tipo de red muy actual, usada en distintas empresas dedicadas al soporte de redes en situaciones difíciles para el establecimiento de cableado, como es el caso de edificios antiguos no pensados para la ubicación de los diversos equipos componentes de una Red de ordenadores. Tienen la ventaja de no verse interrumpida por cuerpos opacos, pudiendo salvar obstáculos físicos gracias a su cualidad de difracción. WaveLAN es una red inalámbrica que utiliza las frecuencias de 902-928 Mhz en Estados Unidos, aunque en Europa ha solicitado la concesión de otras frecuencias, ya que esta banda está siendo utilizada por la telefonía móvil. Esta red va a 2 Mbps, y tiene una cobertura de 335 metros. Puede utilizarse de forma independiente o conectada a una red Novell convencional (Arcnet, Token Ring o Ethernet).<sup>3</sup>

La tecnología **láser** tiene todavía que resolver importantes cuestiones en el terreno de las redes inalámbricas antes de consolidar su gran potencial de aplicación. Hoy en día resulta muy útil para conexiones punto a punto con visibilidad directa, utilizándose fundamentalmente en interconectar segmentos distantes de redes locales convencionales (Ethernet y Token Ring). Es de resaltar el hecho de que esta técnica se encuentre en observación debido al posible perjuicio para la salud que supone la visión directa del haz. Con circuitos punto a punto se llegan a cubrir distancias de hasta 1000 metros, operando con una longitud de onda de 820 nanómetros.

### 1.3 ALGUNOS ESTÁNDARES PARA INALÁMBRICAS

802.11 es un estándar desarrollado por el instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) para las LAN inalámbricas. Enseguida se enuncian las versiones:

- 802.11a: Este es un estándar para LAN inalámbricas que funciona en el rango de frecuencias de 5 GHz, con 54 Mbps de velocidad. Cubre entre 30 y 300 metros si no hay muros y obstáculos.

---

<sup>2</sup> InfraLAN es una red basada en infrarrojos compatible con las redes Token Ring a 4Mbps, pudiendo utilizarse independientemente o combinada con una red de área local convencional.

<sup>3</sup> PureLAN es otra red de este tipo compatible con Novell Netware, LAN Manager, LAN Server y TCP/IP. Va a 2 Mbps y tiene una cobertura de 240 metros.

- 802.11b: Es un estándar para LAN inalámbricas que funciona en el rango de frecuencias de 2,4 Ghz, con un ancho de banda de 11 Mbps. Es la frecuencia para hornos microondas, teléfonos inalámbricos y dispositivos Bluetooth. Alcanza 460 metros en espacio libre.
- 802.11g: Es un estándar que funciona en el rango de frecuencias de 2,4Ghz y garantiza una transferencia de datos superior a los 54 Mbps, comparados con los 11Mbps correspondiente al 802.11b.
- 802.11n: Es un estándar que aun esta en formación por la IEEE, se espera que la velocidad real de transmisión sea de 500 Mbps, lo que significa que las velocidades teóricas aun sean mayores.
- 802.11e: Es un estándar que soporta tráfico en tiempo real en todo tipo de entorno y situaciones, introduce nuevos mecanismos en capa MAC, para soportar los servicios que requieren garantía de calidad, para ello introduce un nuevo elemento llamado Hybrid Coordination Function (HCF).
- 802.11i: Es un estándar que proporciona mayor seguridad con respecto a los anteriores.
- 802.11 c-f, h-j, n: Son estándares para mejoras de servicios, y extensiones o correcciones a especificaciones anteriores.

#### **1.4 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS**

**1.4.1 Wireless WAN (Wide Area Network).** Abarca un área geográfica relativamente extensa y permite a múltiples organismos conectarse en una misma red a través de conexiones satelitales, o antenas de radio. Para que la comunicación satelital sea efectiva generalmente se necesita que los satélites permanezcan estacionarios con respecto a su posición sobre la tierra, si no es así, las estaciones en tierra los perderían de vista.

**1.4.2 Wireless MAN (Metropolitan Area Network) 802.16.** Es un estandar de transmisión inalámbrica diseñado para ser utilizado en el área metropolitana, proporcionando acceso en áreas de hasta 48 Km. de radio, a velocidades de hasta 70 Mbps.

**1.4.3 Wireless LAN (Local Area Network) 802.11.** Permiten interconectar una red de dispositivos dentro de una localidad para compartir archivos, servicios, y otros recursos.

En general utilizan señales de radio, las cuales son captadas por adaptadores de red. En resumen, estas redes soportan generalmente tasas de transmisión entre los 1 Mbps y 54 Mbps y tienen un rango de entre los 30 a 300 metros, con señales capaces de atravesar paredes.

**1.4.4 Wireless PAN (Personal Area Network) 802.15.** Permite interconectar dispositivos electrónicos dentro de un rango de pocos metros, para comunicar y sincronizar información. La tecnología líder en esta área es el estándar Bluetooth, una tecnología de radio de corto alcance (2,4 GHz) que simplifica las comunicaciones entre dispositivos de red. Debido a que no fue diseñada para soportar grandes cargas de tráfico, no es una buena alternativa para sustituir redes locales o amplias.

## 1.5 ESPECTRO EXPANDIDO (SPREAD SPECTRUM)

Fue desarrollado para fines militares y su funcionamiento consta en dividir las señales informativas en varias frecuencias, estas frecuencias comúnmente son las de 902-928 MHz y de 2.4-2.484 GHz (también llamada ISM Industrial-Scientific and Medical radio frequency), este último rango de frecuencias es utilizado por teléfonos inalámbricos (NO celulares), controles de puertas eléctricas, entre otros; la ventaja de operación en esta frecuencia es que no requiere permiso gubernamental para ser utilizada a diferencia de otras frecuencias.

**1.5.1 Frequency Hopping Spread Spectrum ("FHSS").** Fue la primera implementación de Espectro expandido y funciona de la siguiente manera: Igual que Ethernet los datos son divididos en paquetes de información, solo que estos paquetes son enviados a través de varias frecuencias, utilizando una secuencia pseudoaleatoria, esto es conocido como "Hopping Pattern", la intención de enviar la información por varias frecuencias es cuestión de seguridad, ya que si la información fuera enviada por una sola frecuencia sería muy fácil interceptarla.

Además, para llevar a cabo la transmisión de datos es necesario que tanto el aparato que envía como el que recibe información coordinen este denominado "Hopping Pattern", por lo que ambos deben conocer este tipo de secuencia. El estándar IEEE 802.11 utiliza FHSS.

Una transmisión en espectro expandido ofrece 3 ventajas principales:

1. Son altamente resistentes al ruido y a la interferencia.
2. Son difíciles de interceptar. Una transmisión de este tipo suena como un ruido momentáneo, o como un incremento en el ruido en cualquier receptor, excepto para el que esté usando la secuencia que fue usada por el transmisor. Si se intentara interceptar la señal, sólo se conseguiría para unos pocos bits.

3. Transmisiones en espectro expandido pueden compartir una banda de frecuencia con muchos tipos de transmisiones convencionales con mínima interferencia.

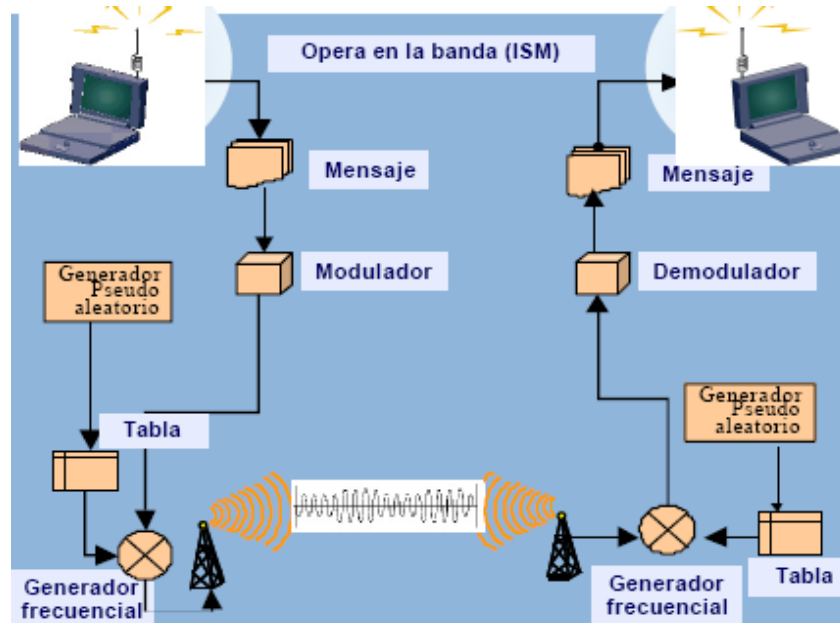


Figura 1. Frequency Hopping Spread Spectrum ("FHSS")

## 2. ANALISIS DE SISTEMAS INALÁMBRICOS EN LA INDUSTRIA

### 2.1 TECNOLOGÍA DE REDES INALÁMBRICAS

Los cambios en la tecnología inalámbrica para redes de datos durante los últimos años han sido más dramáticos que los cambios en la transmisión por radio, desde cuando Guglielmo Marconi, envió el primer telegrama cruzando el Atlántico, desde Cornwall en el REINO UNIDO hasta St. Johns, Newfoundland, el 12 de diciembre de 1901. El progreso en la transmisión por radio comercial desde la telegrafía hasta la televisión fue moderado y se dio por décadas. La transmisión inalámbrica digital a nivel comercial comenzó a mediados de los 90s cuando la telefonía digital celular conocida como PCS (Personal Communications Service), reemplazo al AMPS (Advanced Mobile Phone Service), que en su momento era el protocolo de transmisión de voz análoga dominante. La tecnología inalámbrica digital fue entonces dividida en tres tecnologías que compiten: Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), el sistema móvil global (GSM), y acceso múltiple por división de código (CDMA). TDMA todavía es usada por AT&T pero está siendo reducida por GSM, la cual es usada por la mayoría de compañías portadoras europeas y asiáticas así como T-Mobile, Cingular, y AT&T. CDMA es usada por algunas compañías portadoras japonesas, como Sprint y Verizon. TDMA, GSM, y CDMA no son ínter operables.

La red de área local inalámbrica (LAN) empieza a surgir a finales de los 90s, cuando se hizo obvia la necesidad de redes inalámbricas para datos. Las LANs inalámbricas requerían transmisiones de datos mas rápido, que fueron posibles con los celulares PCS (de cualquier tecnología), y con el tiempo, la industria decidió usar espectro expandido digital, definida por la IEEE en el estándar 802.11. El espectro expandido fue desarrollado originalmente por el ejército americano basados en la patente US 2,292,387 (espectro expandido), la cual originalmente había sido concedida a la actriz de Hollywood Hedy Lamarr y su compañero George Antheil. El espectro expandido con salto de frecuencia (FHSS) y el espectro expandido con secuencia directa (DSSS), operan hasta 2.0 Mbps, y fueron las dos primeras tecnologías IEEE 802.11. Estas tecnologías iniciales fueron mejoradas hasta llegar a la IEEE 802.11b (opera hasta 11Mbps), y 802.11a y 802.11g (ambas operan hasta los 54 Mbps). Todas estas son llamadas Wi-Fi (wireless fidelity). En el ambiente comercial estas tecnologías se conocen como wireless-A, wireless-B, y wireless-G.

**2.1.1 Estándares.** La naturaleza dinámica de las comunicaciones de datos digitales inalámbricos proviene de los comités de estándares del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), quienes desarrollan la mayoría de estos protocolos. No existe un interés claro en el comité de la IEEE 802 para las redes PAN (personal área network), LAN (Local Area Network), MAN (Metropolitan Area Network), y WAN (Wide Area Network), en crear un único protocolo de red que cubra estos cuatro dominios.

Por consiguiente, cada aplicación tiene un interés especial que no se acomoda a un protocolo existente dando lugar a crear un nuevo subcomité para crear un nuevo protocolo. IEEE asegura que estos comités deliberan imparcialmente, y acordaron que estos estándares sean públicamente revisados. Todos los estándares IEEE 802 son sometidos a consideración de la ISO/IEC ((International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission) con el fin de ser consideradas como normas internacionales. Algunos de los estándares de la IEEE 802 han fracasado en el mercado comercial, mientras que otros han tenido éxito. Otra fuente de creación de protocolos de comunicaciones inalámbricas es la ITU (International Telecommunications Union), organismo que establece los estándares para las redes telefónicas. 3G es un servicio digital de paquetes switcheados basado en CDMA, y es un estándar ITU que ha comenzado a comercializarse en varios países teniendo una tendencia de adopción mundial. De hecho, han sido muchas las predicciones para los computadores portátiles entre esas están que usarán inalámbricas con banda ancha y paquetes switcheados preferiblemente en lugar de servicios de cable modem como la telefonía DSL (digital subscriber loop) o CATV (Community antenna television). Aunque hay razones excelentes para quedarse con inalámbricas 3G, hay que poner atención a las redes de voz y a algunas aplicaciones para datos móviles, debido a que no se han considerando para uso industrial. Sin embargo, dado la eventual disponibilidad, el bajo costo y el bajo consumo de energía de la 3G, no se puede ignorar.

**2.1.2. Wi-Fi** Un factor que causa el cambio tecnológico rápido en las comunicaciones inalámbricas es el creciente procesamiento de los semiconductores comerciales como los CMOS para ocuparse de frecuencias más altas. Este factor es el responsable del creciente interés en la 802.11a, que previamente requirió GaAs (gallium arsenide) o semiconductores bipolares de alta potencia. Cuando las partes de la 802.11a son construidas en CMOS, estas son más económicas que las partes de la 802.11b. Con la ratificación de 802.11g y el desbordamiento de nuevos productos en el mercado, se está dando testimonio de otro cambio dramático en el mercado Wi-Fi. El 802.11g el cual no es compatible con 802.11b, está desplazando a la 802.11b en el mercado de los productos inalámbricos. Dado que 802.11a y 802.11g nombradas como una porción de la tecnología por modulación común, y multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) son productos que no solo ofrece ambos estándares sino que también son económicos. Dado que la banda Wi-Fi de 2.4 GHz comienza a saturarse, los beneficios de 802.11a empiezan a ser convincentes debido a que la banda de 5.0 GHz para 802.11a ofrece once canales sin traslaparse, contra tres canales para 802.11b y 802.11g. Una reciente regulación de la FCC elabora trece canales adicionales y disponibles para la 802.11a, para un total de veinticuatro canales sin traslaparse. Los chips que ofrecen 802.11a/b/g están en el mercado, y pronto todo lo nuevo para redes Wi-Fi LANs, ofrecerá las tres tecnologías a un bajo precio. La Figura 2 ilustra un mapa de transición en el mercado Wi-Fi.

El mercado Wi-Fi es apoyado por The Wi-Fi Alliance, que en sus propias palabras “es una asociación internacional sin ánimo de lucro formada en 1999 para certificar la interoperabilidad de productos para redes LAN's inalámbricas basadas en las especificaciones de la IEEE 802.11. Actualmente The WI-FI Alliance tiene cerca de 200

compañías como miembros alrededor del mundo, y cerca de 1000 productos han recibido la certificación Wi-Fi® desde que comenzó a certificarse en marzo de 2000.<sup>4</sup>

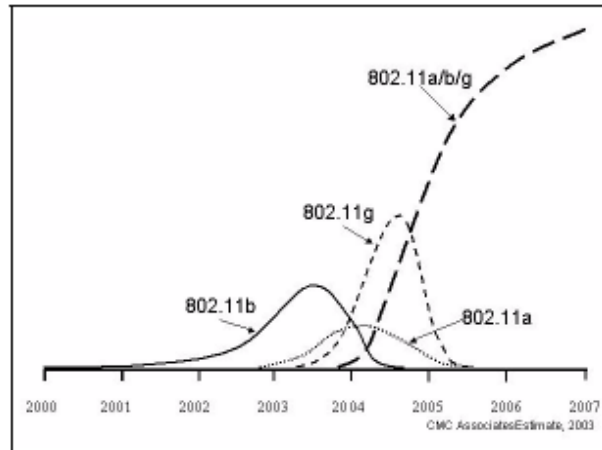


Figura 2. Cronología de Wi-Fi

**2.1.3 Bluetooth.** Bluetooth ya ha sido aplicado en muchos productos comerciales pero a un paso más lento de lo que habían pensado sus diseñadores. Originalmente estaba definido como el reemplazo de la tecnología cableada, simplemente tenía bastante potencial en las redes e interés en una variedad ancha de compañías para extender su uso más allá de lo pensado originalmente. De hecho, Bluetooth es mucho más que un protocolo de comunicaciones, es un portafolio lleno de aplicaciones para las comunicaciones. La capa más baja de las comunicaciones de Bluetooth fue publicada como norma IEEE 802.15.1. En la conexión de dispositivos, Bluetooth ofrece una suite amplia de funcionalidades, incluyendo enlaces walk-up sin interacción del usuario y con conexión de voz. Las redes de Bluetooth están intencionalmente limitadas a un máximo de ocho nodos, que conforman una piconet. Cuando un nodo está incluido en más de una piconet, tal nodo asume la tarea de enviar mensajes to/from a otra piconet, agregándole complejidad a las redes de Bluetooth. El rasgo más atractivo de Bluetooth para propósitos de automatización industrial es el uso de corrección anticipada de errores FEC (Forward Error Correction) para entregar los mensajes sin errores y sin requerimiento de retransmisión. La desventaja de FEC es la pérdida de eficiencia: Un canal de comunicaciones de 1 Mbps solo puede entregar 721 Kbps.

Bluetooth fue definido por un grupo de fabricantes comerciales, y no por una organización de estándares. Solo la 802.11b y 802.11g, operan en la banda de frecuencia libre de los 2.4 GHz, pero usan la tecnología de espectro expandido con salto en frecuencia (FHSS). Como resultado, la presencia de Bluetooth muy cercana a los nodos de Wi-Fi causa que la señal para WLAN se degrade, lo cual significa el desastre, para las transmisiones de Bluetooth. Mientras no exista un protocolo que ayude a tales nodos a evitar la degradación de la señal, esta labor le corresponderá resolverla a los proveedores, por lo

<sup>4</sup> El website de The WI-FI Alliance es <http://www.weca.net/OpenSection/index.asp>

que muchos proveedores de nodos tanto de Bluetooth y Wi-Fi han optado por sincronizar las transmisiones para evitar la degradación.<sup>5</sup>

**2.1.4 Redes Inalámbricas vs Redes Alámbricas.** Wi-Fi ha sido considerada como un Ethernet Inalámbrico, pero es mucho más que eso. Se han diseñado redes alámbricas, como Ethernet, para realizar comunicaciones entre dispositivos. Se diseñan redes inalámbricas, como Wi-Fi, para realizar comunicaciones entre dispositivos. La diferencia está en la pérdida de una ubicación fija para los dispositivos, pero la movilidad de los dispositivos es el principal beneficio de las redes inalámbricas.

El aire es gratis, pero aun para operar las redes inalámbricas se necesita de una conexión alámbrica a un computador o a una red alámbrica, una fuente de poder, y unos radios. Estimar el costo de una red alámbrica es fácil. Este es la suma del costo del cable de la red, las uniones, y los cables de conexión; la instalación de los cables y las uniones; las interfaces de red; y el mantenimiento a largo plazo del cableado instalado. Las redes inalámbricas son más difíciles de estimar. Ellas incluyen el costo de cablear los puntos de acceso, el equipo de los puntos de acceso, las interfaces inalámbricas, y la solución de problemas inalámbricos y mantenimiento a largo plazo.

El otro problema notable de los dispositivos inalámbricos es que aun necesitan de una fuente de poder. Los nodos de las redes alámbricas pueden tomar la energía de un tomacorriente de AC local, pero los dispositivos inalámbricos móviles dependen de baterías o de fuentes de energía alternativa. Claro, se puede conectar un dispositivo inalámbrico a una fuente de energía local, pero entonces se pierde la ventaja de movilidad e incurre en costos de instalación entre la fuente de energía y el dispositivo. En cierta forma, el reciente estándar PoE (Power on Ethernet), IEEE 802.3af fue creado para ayudar a resolver este problema, transportando energía eléctrica sobre redes Ethernet alámbricas para ser usada por los puntos de acceso inalámbricos. Todavía es demasiado temprano para ver una aceptación en masa de este estándar, pero es probable que se acepte tan pronto se empiece a vender productos bajo este estándar. Sin embargo, PoE aun no direcciona el tema de la energía eléctrica para dispositivos inalámbricos.

**2.1.4.1 Desvanecimiento y pérdida de la señal.** A principios del siglo XXI, las redes inalámbricas aun padecen de misteriosos puntos muertos y áreas en donde no hay ninguna recepción. Se dicen misteriosos porque aun con una planificación muy cuidadosa no se han podido remover todos los puntos muertos, y a veces los puntos vivos se mueven, en el idioma de la radio, se desvanecen. La pérdida espontánea de las comunicaciones sin ninguna razón aparente, es uno de los aspectos más molestos de las redes inalámbricas. A menudo, la señal misteriosamente retorna aun antes de que la

---

<sup>5</sup> El website de Bluetooth es: <http://www.bluetooth.com/help/>  
Referencias y foros de discusión sobre productos de Bluetooth, consulte el website:  
<https://www.bluetooth.org/>

causa de esta pérdida pueda investigarse. Esto ocurre con teléfonos celulares, dispositivos Wi-Fi, y con todas las otras tecnologías LAN inalámbricas.

El desvanecimiento puede ser causado por la interferencia de otras señales de radio presente en el mismo lugar del espectro, al igual que un equipo en movimiento. A veces, un punto vivo sólo existe como resultado de un efecto multicaminos cuando la señal es reflejada desde varios objetos fijos. Wi-Fi es conocido por desvanecerse en áreas como la cocina cuando está en uso el horno microondas, o en lugares con teléfonos inalámbricos operando a 2.4 GHz. Los puntos muertos pueden aparecer dentro de edificios dependiendo de sus materiales de construcción. Si en la línea de vista entre el punto de acceso y el dispositivo inalámbrico, cada cierto tiempo la onda de radio tiene que pasar a través de un sólido, la señal se atenúa. Entre más denso sea el material mayor será la atenuación. Los metales, particularmente el acero, usado en construcciones de edificios, pueden absorber o atenuar significativamente la señal de radio, creando un punto muerto. Al moverse el punto de acceso o el dispositivo a una distancia pequeña, quizás, unos pocos milímetros, se puede eliminar ese punto muerto.

¡Finalmente, existen las manchas solares! El sol emite un espectro ancho de ondas electromagnéticas en todas las frecuencias, que generalmente constituyen el ruido. De vez en cuando, la superficie del sol experimenta llamaradas de manchas oscuras que emiten ondas electromagnéticas muy fuertes que se conocen como interferencia en las transmisiones de radio. Estas cosas simplemente no ocurren con las comunicaciones alámbricas.

**2.1.4.2 Distorsión de Multicaminos (Multipath).** Desde una antena omnidireccional, las ondas de radio se mueven en todas las direcciones. Cuando estas ondas de radio golpean un objeto muy denso como el metal o una piedra, estas se reflejan, de la misma forma como la luz es reflejada en un espejo u otra superficie brillante. Incluso cuando hay línea de vista entre la antena transmisora y la receptora, algunas señales son reflejadas desde otros caminos llegando a la antena receptora. Este fenómeno se conoce como multipath y puede distorsionar la señal recibida de un camino más largo, causando que la señal sea recibida en desfase con la señal del camino directo. El efecto de distorsión del multipath puede llegar incluso a cancelar la señal, dependiendo de los caminos y los tiempos de retraso. En algunos casos, el efecto del multipath amplifica la señal de recepción. Esto ocurre, cuando ambos caminos se reciben en fase, igual que cuando se usan antenas de transmisión múltiple.

**2.1.4.3 Ondas de radio compartidas.** Uno de los problemas de la radio es que el espectro es limitado, y los nuevos requerimientos están viéndose limitados a raíz de esto. La asignación de ciertas bandas de frecuencia para usos específicos es por lo general responsabilidad de agencias gubernamentales, para el caso de los Estados Unidos es el FCC. El proceso de asignación de frecuencias es por lo general político y se basa muy poco en la tecnología. Además, la asignación de frecuencias es muy dinámica y sensible a las condiciones económicas y a la aparición de nuevas soluciones de tecnología. Por ejemplo, el FCC asignó originalmente ochenta y dos canales de frecuencia de 6 MHz

exclusivamente para transmisión por televisión de un gran segmento del espectro para un solo propósito. En la mayoría de las áreas de los Estados Unidos, sólo un pequeño fragmento del espectro es usado realmente, debido a que la televisión comercial fue renuente a usar las frecuencias más altas de UHF debido a su rango de recepción limitado en distancia. Algunos de los canales de televisión de UHF no usados, han sido reclamados por otros usuarios, y otros están en la mira para ser reasignados a futuro. No es necesario decir, que las estaciones de televisión son muy renuentes a cambiar los canales de frecuencia que se encuentran en uso. El ejército americano es uno de los usuarios que más demandan frecuencias de radio y son muy renuentes a devolver alguna frecuencia que se les haya asignado previamente. Esta misma actitud se ve también reflejada en la mayoría de los entes militares de otros países, incluso cuando el servicio que usaban en esa frecuencia ha sido abandonado. Otro sector público exigente es el radio aficionado, para el cual se ha asignado pequeñas bandas de frecuencia esparcidas a lo largo del espectro. Las emisoras de radio - aficionados también son renuentes ha abandonar cualquier banda de frecuencia.

No obstante, la mayoría de los gobiernos han pedido que el espectro del radio sea compartido por todos, a menos que el servicio no pueda funcionar cuando se comparte el espectro. Por definición, las bandas de frecuencia militar no pueden compartirse. La televisión y la radio pública, y el posicionamiento global por satélite (GPS) tampoco pueden compartir las frecuencias. Cierta seguridad pública y muchos negocios autorizados tampoco comparten las frecuencias. El resto pueden compartirse, y están divididos en bandas de frecuencias autorizadas y libres. Generalmente, a los usuarios de las bandas autorizadas se les permite transmitir con potencias elevadas para alcanzar distancias más largas, mientras se obliga a las bandas libres radiar con una potencia limitada para minimizar la interferencia entre los usuarios.

Los usuarios de frecuencias de radio compartida exigen algún tipo de control de acceso con el fin de evitar la interferencia. Afortunadamente, como la demanda en las bandas de radio ha aumentado, económicamente ha sido viable empezar a usar frecuencias más altas. La expansión a las frecuencias más altas ha habilitado una mayor rata de intercambio de información, pero esto produce a menudo mensajes de longitud más corto, y normalmente requiere sacrificar el rango o la distancia entre el transmisor y el receptor. Las frecuencias más altas por lo general están limitadas por la línea de vista entre el transmisor y el receptor. La mayoría de los nuevos métodos para las frecuencias de radio compartido han dependido de la tecnología de paquetes de radio que es aplicada para las transmisiones de datos digitales.

En una tecnología de radio por paquetes para redes inalámbricas LAN, los usuarios pueden compartir la misma frecuencia a través del uso de la tecnología del espectro expandido. GSM es una tecnología de la telefonía inalámbrica que se usa en la mayoría del mundo. CDMA es la tecnología para telefonía móvil del futuro, y depende de tecnología de la conmutación de paquetes para compartir la banda ancha.

- **Pérdida de privacidad.** Desde que la radiodifusión entró en el aire, cualquiera puede recibir una señal. Las comunicaciones alámbricas requieren de una conexión eléctrica física, o por lo menos de un acoplamiento inductivo para interceptar la señal. Los gobiernos han promulgado que interceptar una señal de comunicación alámbrica es ilegal y sólo puede permitirse con un orden judicial, pero no existe tal limitación para las señales de radio. Si usted transmite, cualquiera puede recibir, sin embargo, hay leyes que prohíben escuchar algunas transmisiones de radio. Afortunadamente hay soluciones para hacer que las señales de radio sean más privadas. Aunque no existe un camino que provea exactamente un nivel de privacidad a una comunicación alámbrica, hay varios métodos disponibles para hacer que las transmisiones de radio sean difíciles de interpretar. Una de las maneras más comunes de obtener privacidad es usar antenas de radio muy direccionales haciendo que la interceptación sólo sea posible si se conoce de ella y hay acceso a la línea de vista entre las antenas transmisora y receptora. Al localizar físicamente la línea de vista de las antenas sobre torres y azoteas, se estará limitando potencialmente la interceptación.

La encriptación, puede hacer que una señal interceptada, sea difícil o imposible de interpretar, al grado equivalente al de las comunicaciones alámbricas. La encriptación es la ciencia de cifrar los datos usando un método y una llave. La desencriptación es el método de usar una llave para descifrar los datos para restaurarlo a su forma original. El interceptor necesitaría la llave de la encriptación para abrir los datos y descifrarlos. La encriptación simple es suficiente para proteger datos no críticos o vitales, pero se requiere de una encriptación más compleja para intercambiar datos que puedan involucrar información personal o financiera.

Hay dos tipos de encriptación: la llave secreta o privada, y la llave pública/privada. La encriptación por llave secreta, usa una llave que consiste en varios caracteres para procesar el mensaje original para crear un mensaje encriptado. La misma llave se usa para descifrar el mensaje después de que se recibe. Se usan muchos procesos o algoritmos para la encriptación privada o secreta. El algoritmo más conocido es la Norma de Encriptación de Datos (DES). Este se desarrolló por el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología (NIST), y se publicó ampliamente. DES usa una llave secreta de 56-bits. Para hacerlo más seguro, a veces se usa Triple-DES en donde la misma llave se procesa tres veces. La norma de encriptación avanzada (AES) es uno de los últimos desarrollos de NIST para garantizar la máxima seguridad al método de llave secreta, usando llaves de 128, 192 y 256 bits.

Uno de los métodos más interesantes es la encriptación pública/privada, la cual es usada para verificar firmas. A un usuario se le da una llave pública que puede ser de conocimiento público. Cuando el remitente "firma" un documento, la firma digital se encripta con la llave privada del remitente. La firma encriptada y la llave pública del remitente son enviadas al destinatario, quien usa la llave pública del remitente para verificar la firma del usuario original. La privacidad del documento se obtiene encriptando el documento entero que usa la llave pública del destinatario. Cuando es recibido, el destinatario escogido, y sólo ese destinatario, puede descifrar el documento usando su

propia llave privada. Ningún método proporciona mayor seguridad que la encriptación con llave pública/privada.

Hay dos métodos de encriptación dominantes de llaves pública/privada: RSA (Rivest-Shamir-Adleman), y PGP (Pretty Good Privacy). RSA es un producto de RSA Security, una compañía que se especializa en temas de seguridad. PGP es un algoritmo abierto soportado por PGP Corporation. Ambos métodos se pueden usar, pero PGP se usa más a menudo para encriptar un mensaje entero. El SSL (Secure Socket Layer) es el protocolo principal de seguridad en el internet y usa la encriptación RSA. Cuando se comienza una sesión de SSL, el servidor envía su llave pública al navegador. El navegador usa la llave pública para enviar una llave secreta generada aleatoriamente, regresando al servidor para tener un intercambio de llave secreta para esta sesión. El problema es que la infraestructura de la llave pública (Public Key Infrastructure) requiere de mucha lógica computacional para ser implementada fácilmente en los dispositivos portátiles más simples. El uso de la encriptación normalmente se limita a la verificación de firmas digitales y a las transacciones financieras como una tarjeta de crédito o el número de cuenta bancario.

- **Membresía de red** La membresía en una red alámbrica se logra al establecerse una conexión física al cable o a un elemento de la red como un hub o un switch. Las unidades inalámbricas no se conectan ni desconectan de una red, para comunicarse, ellas deben buscar unirse a una red inalámbrica primero. Como parte del protocolo para conectarse a la red, esta misma le asigna una dirección. El número de miembros de la red realmente es una función de la capacidad de enrutamiento, la cual está incluida en la red usando un protocolo IEEE 802.1d implementado por switches de red. El algoritmo es llamado "spanning tree bridge". En él, el switch de red se aprende las direcciones Ethernet de cada estación conectada cuando un mensaje es enviado desde una estación, ya que la dirección está localizada en el encabezado del mensaje.

Hacer roaming es una propiedad esencial de las redes inalámbricas. Cualquier dispositivo inalámbrico puede moverse físicamente para estar en diferentes redes inalámbricas. La habilidad de hacer roaming, significa que las aplicaciones puedan continuar realizando sus comunicaciones con dispositivos en movimiento desde una red inalámbrica (dominio) a otra. El número de miembros de la red se transfiere transparentemente de un dominio a otro. Para una red de telefonía inalámbrica, el roaming se hace transparentemente para teléfonos celulares que se mueven dentro del rango de una torre celular a la siguiente. Esto no es tan simple para las computadoras portátiles en una LAN inalámbrica, normalmente, todos los puntos de acceso de LAN's inalámbricas se conectan a los puertos de un solo switch de la red que realiza funciones de enrutamiento. Sin embargo, esto produce un desorden de mensajes que se envían por todos los puntos de acceso en espera de encontrar la estación objetivo.

La solución más nueva para roaming en LAN's inalámbricas es el switch inalámbrico so-called. Éste es un punto de acceso que tiene la habilidad de ejecutar lógica spanning tree bridging 802.1d. Simplemente como un switch alámbrico, este aprende que una estación

está dentro de su rango cuando la estación transmite un mensaje, el problema es que la estación puede haber estado previamente en el rango de un punto de acceso diferente. Los recientes adelantos a la norma IEEE 802.1d provee la capacidad de gerenciamiento de red para mover el registro de una estación desde un switch a otro. El switch inalámbrico usa esta capacidad para mover el registro de una estación desde un switch inalámbrico o un punto de acceso a otro. Usando los switches inalámbricos, se reduce el desorden de broadcast en las redes.

**2.1.5 Tecnología de antenas.** Aunque la antena es un elemento pasivo de las redes inalámbricas, esta es muy importante. La(s) antena(s) transmisora acopla la señal a la(s) antena(s) receptora de igual forma como el cableado interconecta las redes alámbricas. Adicionalmente, así como las redes alámbricas su capacidad es determinada por el tamaño del cableado, el rendimiento de las redes inalámbricas, depende fuertemente de la ganancia de la antena.

Una característica muy importante de las antenas es la tendencia de polarizar la señal transmitida. Una antena de transmisión vertical causará una polarización vertical, mientras una antena horizontal causará una polarización horizontal. La señal de radio AM se polariza verticalmente, debido a que las antenas de los automóviles son verticales. Una transmisión de FM se polariza horizontalmente, de igual forma como la señal de televisión en VHF y UHF. Usar la misma antena vertical usada para radio AM para recibir radio FM es un método no muy óptimo. Sin embargo, aun funciona, debido a que la polarización no es completamente horizontal o vertical, y las antenas normalmente no están completamente verticales.

**2.1.5.1 Tamaño de la antena.** La longitud de la antena es óptima cuando es exactamente una longitud de onda. Si alguien sintoniza una banda de radio a 27 MHz, las antenas óptimas serian de 11m de longitud. Incluso la antena del automóvil a 1/4 de longitud de onda serian de casi 3m de longitud. La fórmula para calcular la longitud de la antena a máxima longitud de onda es la siguiente:

$$\text{Wavelength(m)} = \frac{299,792,458}{\text{frequency (MHz)}}$$

Donde la frecuencia de la banda de radio se ha incrementado, haciendo que el tamaño de las antenas se reduzca. Entonces una banda de 2.4GHz usada para LANs inalámbricas, tendría una antena a full longitud de onda de tan solo 12,5 centímetros. A estos tamaños, es posible comenzar a integrar antenas completamente dentro de productos como un instrumento o un computador de bolsillo.

**2.1.5.2 Antena omnidireccional.** La mayoría de las antenas para redes inalámbricas son omnidireccional, es decir, radian la señal al mismo tiempo en todas las direcciones. Las antenas Omnidireccional son consideradas con ganancia cero, medida en dB, y son normalmente de polarización vertical por conveniencia. Desde que la energía es

transmitida desde una antena omnidireccional esta se radia igualmente en todas las direcciones, y la pérdida de energía es proporcional al cuadrado de la distancia de viaje. Adicionalmente, cuando las ondas de radio atraviesan cualquier material estas comienzan a atenuarse en proporción a la densidad del material. En particular, los metales conductivos como el cobre, aluminio, hierro, y acero tienden a conducir la energía de radio hacia un punto de tierra, si este esta provisto. Finalmente, las ondas de radio son recibidas de antenas de radio que le apuntan, donde la misma antena también recibirá energía de radio de otros transmisores e incluso la señal original reflejada de una obstrucción en el camino directo.



Figura 3. Antena omnidireccional.

**2.1.5.3 Antena direccional.** Para superar las pérdidas de señal causadas por las antenas omnidireccionales, las antenas de transmisión direccional concentran la energía radiada en una haz estrecho. Existen varios métodos para concentrar la energía de radio, todas involucran la reflexión de la energía emitida en la dirección equivocada y la redireccionan a la dirección designada. Las antenas direccionales se direccionan manualmente apuntando a la antena receptora a fin de que esta reciba la señal en dirección de la antena transmisora. Si el transmisor o el receptor están en movimiento, las antenas deben estar continuamente reposicionando para alinearse.

Las antenas direccionales de alta ganancia en el receptor también pueden ser usadas para mejorar la captura de las señales de radio enviadas por antenas omnidireccionales y para asegurar que todo el haz estrecho de una transmisión direccional se capture. Las antenas direccionales también tienden a eliminar ruido, otras señales perdidas en la misma frecuencia, y reflexiones, lo cual, mejora la relación señal-ruido, mejorando la recepción. Las antenas direccionales usadas para ultra-high-frequency (UHF) y radio microondas se ilustran en las Figuras 4 y 5. Nótese que no es necesario usar una antena de alta-ganancia tanto para transmitir como para recibir, pero para comprender los beneficios de las antenas de alta ganancia en un servicio bidireccional, como una WLAN, las antenas de alta ganancia deberían ser utilizadas en ambos terminales para mejorar el servicio.

La antena tipo YAGI mostrada en la Figura 4 ilustra una serie de antenas polarizadas verticalmente. Los elementos verticales más largos que se encuentran atrás están diseñados para reflejar hacia el frente la radiación emitida por los elementos pequeños.

En la recepción, los elementos de atrás tienden a reflejar las señales recibidas hacia los elementos de adelante activos de la antena. Este diseño incrementa la ganancia entre 3 a 13 dB, dependiendo del número de elementos verticales.

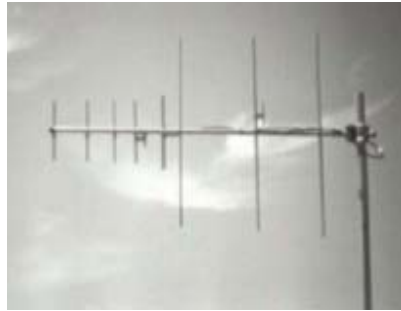


Figura 4. Antena YAGI.

Un plato parabólico, como se muestra en la Figura 5, es mucho más caro que una antena omnidireccional o YAGI, pero proporciona una mayor ganancia. El plato parabólico refleja las ondas radiadas en un haz estrecho, e igualmente enfoca la energía recibida de un área más ancha en una antena receptora. Además de su alto costo y su vulnerabilidad al viento y la nieve, el plato parabólico posee otra desventaja: El ancho del haz estrecho cuando se usa como un transmisor. La amplitud del haz estrecho hace que la tarea de apuntar a la antena receptora sea mucho más difícil, especialmente cuando se usa una antena parabólica. Un plato parabólico generalmente tiene una ganancia de 20 a 24 dB por encima de una antena omnidireccional.



Figura 5. Antena Parabólica.

**2.1.5.4 Antena plana.** La antena plana se diseño para el uso en teléfonos móviles y es de uso comercial. Las antenas planas son pequeñas y ligeras, adicionalmente las frecuencias de LAN's inalámbricas pueden estar embebidas en el equipo. La ganancia de la antena se obtiene construyendo más de una antena plana en un dispositivo.

**2.1.5.5 Antena de arreglo escalonado.** Una antena de arreglo-escalonado es una organización bidimensional de antenas planas. Los sistemas de radares militares fueron los primeros en usar las antenas de arreglo-escalonado, pero actualmente su alto costo las hace poco atractivas. El encanto de las antenas de arreglo escalonado es que pueden exhibir la alta ganancia de una antena direccional y puede ser orientada electrónicamente sobre un amplio ángulo sin mover la base de la antena. Por consiguiente, las antenas de arreglo escalonado disfrutaban una verdadera ventaja al conectarse inalámbricamente en equipos móviles cuando estos se mueven más allá del rango de las antenas omnidireccionales. Las antenas de arreglo escalonado forman un haz electrónicamente superior a las usadas por propiedades reflexivas de metales. Cada componente de la antena plana debe manejarse separadamente, con la misma señal modificada en escalón para formar este haz. La formación del haz normalmente puede dirigirse a un ángulo interno de aproximadamente 75 grados.

**2.1.6 Topología de redes inalámbricas** Las redes alámbricas tienen un diseño o topología que son determinadas por la ubicación de los nodos y componentes de la red. Las redes inalámbricas no son tan fácilmente descritas. La topología de una red inalámbrica se determina por las capacidades lógicas de los componentes de la red. A menudo el usuario debe determinar la topología de la red inalámbrica que será configurada después de la instalación, o quizás después de algunas determinaciones de uso.

**2.1.6.1 Estrella.** La configuración más típica o predefinida para una red inalámbrica es una agrupación en estrella en la cual el punto de acceso inalámbrico está en el centro, como se ilustra en la Figura 6. Cada dispositivo inalámbrico entonces se comunica sólo con el punto de acceso común que se conecta normalmente vía alámbrica al switch de la red. Este arreglo pone a todos los dispositivos inalámbricos en la misma colisión de dominio, asumiendo que es una red Ethernet-base. Normalmente, este arreglo no presenta ningún problema desde que el propio punto de acceso sea incapaz de recibir más de un mensaje en un momento e ignorará cualquier segundo inicio.

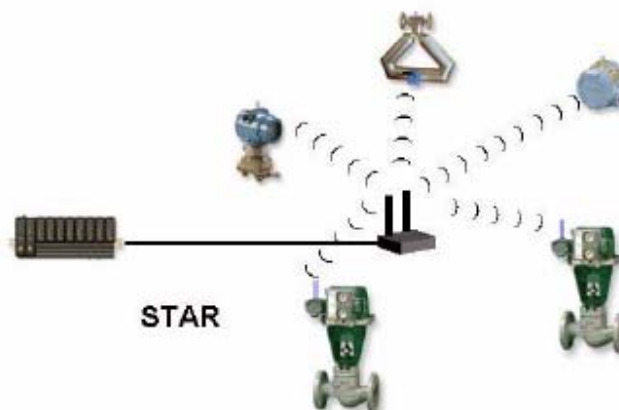


Figura 6. Topología estrella inalámbrica

Desafortunadamente, el segundo dispositivo no notificará que su mensaje no se completó desde el rechazo del mensaje ocurrido en la capa 1, para el Ethernet de la capa 2. Si los mensajes son enviados usando el protocolo TCP/IP a las capas 3 y 4 de la red, el segundo dispositivo recibirá notificación de TCP que el mensaje no fue reconocido, entonces él reintentará. Si el mensaje es enviado usando el datagrama de protocolo de usuario (UDP), no se proporcionará ningún reconocimiento. Es decir, debe proporcionarse este reconocimiento por la aplicación o el protocolo de capa de aplicación.

Los switches de punto de acceso inalámbricos están apareciendo ahora para redes comerciales, su función es similar al de un punto de acceso unswitched, excepto que ellos llevan una capa 2 completa que cambia de función usando el protocolo IEEE 802.1d, e IEEE 802.1w, y el protocolo de reconfiguración rápida necesaria para el roaming inalámbrico. El protocolo "Spanning tree bridge", permite a una red switch aprender la dirección de sus dispositivos conectados, al escuchar los mensajes enviados, dirigiendo cualquier mensaje recibido al dispositivo switch específico. La extensión del roaming permite a una estación conectada a la red, retener la señal de entrada mientras se mueve del radio de una zona inalámbrica a otra. Bajo 802.1d, cuando una estación móvil se desplaza fuera del rango de un punto de acceso/switch, se requiere de un período de interrupción antes que la estación pueda estar en otro punto de acceso/switch. Con 802.1w, la estación puede estar en cualquier punto de acceso/switch simplemente enviando un mensaje, con el cual se desconecta del anterior punto sin necesitar el período de tiempo muerto.

La importancia de la reconfiguración rápida en la automatización industrial es obvia en el caso de dispositivos móviles como los vehículos guiados. Sin embargo, la reconfiguración rápida también puede ser usada para aumentar la confiabilidad de las redes estrella a través de la redundancia en su configuración haciéndolas altamente confiables en el ambiente industrial. Cuando se aplica a un equipo fijo, la conexión de la red inalámbrica normalmente es muy fiable. Sin embargo, es posible que los mensajes no alcancen el destino deseado a causa de la interferencia en el radio del espectro. En ese caso, un segundo punto de acceso/switch puede proporcionar la redundancia necesaria para la ruta alterna requerida para una red altamente confiable. Sin embargo, en el caso de redes inalámbricas, el 100 por ciento de la redundancia no es requerida. Un camino alternativo puede servir como camino primario y como camino auxiliar.

**2.1.6.2 Árbol.** Como en las redes alámbricas, las redes inalámbricas pueden organizarse en una topología de árbol. Cada unidad de campo se configura a una red que se conecta a un punto de acceso/switch específico. Ese punto de acceso se conecta jerárquicamente a otro punto más cercano de acceso de la red. La topología aparece ilustrada en la Figura 7.

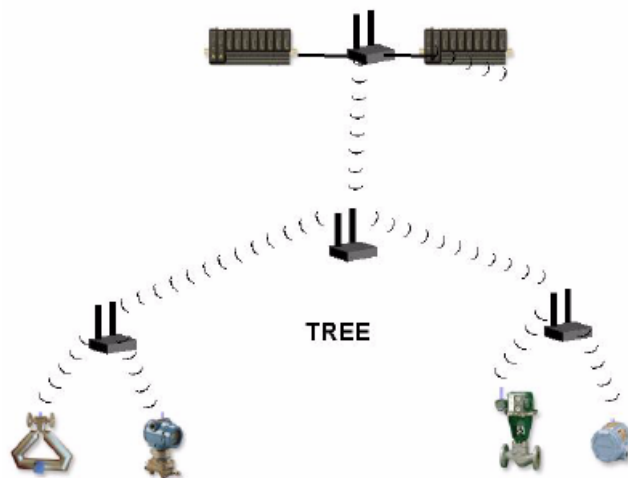


Figura 7. Topología árbol inalámbrica

2.1.6.3 **Malla.** La topología tipo malla es la más novedosa y revolucionaria forma de red. En una red tipo malla cada estación es un dispositivo final y un elemento que realimenta la red. Las redes tipo malla son naturalmente auto reparables y redundantes, que es lo que se requiere para redes de automatización industrial.

En una malla, cada estación es responsable de reenviar una transmisión de la red a otras aun cuando no sea para ella dentro del rango de radio. Esas estaciones, a su vez, envían la transmisión a por lo menos una estación dentro de su rango de radio, como se ilustra en la Figura 8. Por consiguiente, la red llega a ser muy redundante, tolerante a fallas, y extendidas en el rango. La desventaja es que cada estación debe quitar los mensajes redundantes. En efecto, cada estación de red malla se vuelve una red enrutadora. Adicionalmente, cada estación receptora, debe rechazar mensajes duplicados recibidos de caminos divergentes.

Los estándares para protocolos de red tipo malla incluyen la capacidad de construir y mantener las tablas de enrutamiento para proporcionar las pistas para remitir los mensajes. Esto impide que los mensajes se enlacen en direcciones diferentes a su destino, lo cual resulta en una mayor eficiencia de la red. Las tablas de enrutamiento son dinámicas, construidas como mensajes que atraviesan cada nodo enrutador de la red tipo malla.

Desde que las redes tipo malla han sido implementadas para la automatización industrial tiende a tener 256 o menos nodos, las tablas de enrutado pueden ser pequeñas y el enrutamiento simple. Las tablas enrutadoras necesitan ser actualizadas cuando los nuevos nodos aparecen en la red tipo malla por cualquier falla a la respuesta a los mensajes enviados.

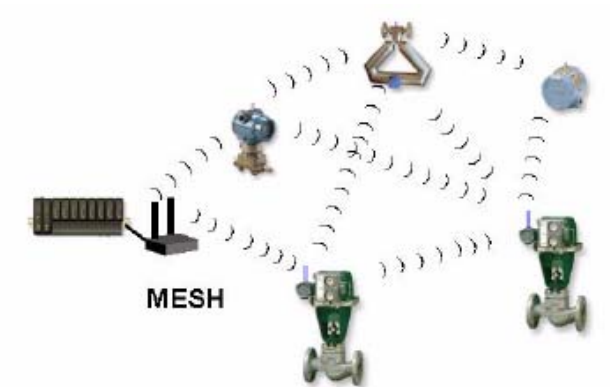


Figura 8. Topología malla inalámbrica

Las redes tipo malla no son nuevas. La propia Internet es una gran red malla alámbrica con los algoritmos de enrutamiento muy complejos. Los algoritmos de enrutamiento de Internet son lo suficientemente eficaces que pocos mensajes necesitan más de quince hops (saltos de un nodo a otro) para alcanzar su destino deseado. Las redes malla inalámbricas proponen un problema que no se encuentra con las redes malla alámbricas como la internet. Con ellas, no hay forma, a menos que se use una antena muy direccional, de prevenir que un mensaje transmitido por un nodo de la red de malla inalámbrica se recibe por otros nodos. Esto lleva a un enrutamiento multicamino, o duplicación de mensajes. Típicamente, el campo de identificación de mensaje del marco IP se usa para identificar mensajes duplicados los cuales se pueden desechar. El enrutamiento multicamino puede mejorar la confiabilidad de la red proporcionando caminos a los mensajes redundantes.

## 2.2 ESTÁNDARES DE RED INALÁMBRICA

El comité del estándar IEEE 802 ha sido la responsable del desarrollo de los estándares de las redes de comunicación de datos alámbricas e inalámbricas. Su trabajo es crear estándares en los Estados Unidos a través de la ANSI (American National Standards Institute), estando también supervisada por la ISO (International Organization for Standardization) para la adopción de estándares internacionales. Después de un retraso de unos meses o años estas normas se han vuelto la serie de estándares ISO/IEC 8802, los cuales tienen números similares a las normas ANSI. En las definiciones o alcances del comité IEEE 802, las redes inalámbricas se definen por las distancias de transmisión nominal, descritas en la Tabla 1.

Nombre	Subcomités	Distancia máxima	Tecnologías
WMAN (wireless metropolitan area network)	IEEE 802.16	Kilometros	WIMAX
WLAN (wireless local area network)	IEEE 802.11	Cientos de metros	WI-FI
WPAN (wireless personal area network)	IEEE 802.15	Decenas de metros	ZigBee, Bluetooth, WiMedia

Tabla 1. Campo de acción de los subcomités inalámbricos de IEEE 802

Dado que el tema que se está tratando es sobre las redes inalámbricas en la industria, se excluirá el análisis de las redes WMAN, por salirse del alcance de la industria.

**2.2.1 Wireless Local Area Networks (WLAN)** Las LANs inalámbricas se usan para conectar dispositivos informáticos dentro de un área relativamente pequeña. La responsabilidad para la estandarización de LANs se ha dado tradicionalmente a los subcomités IEEE 802, y la estandarización de las LANs inalámbricas ha sido asignada al subcomité IEEE 802.11. Inicialmente, IEEE 802.11 aprobó un estándar que usaba tres tecnologías diferentes e incompatibles: FHSS (Salto de frecuencia en espectro expandido), DSSS (secuencia directa en espectro expandido), y la señal infrarroja. FHSS y DSSS estaban limitadas a una tasa máxima de datos de 2.0 Mbps. El estándar 802.11 infrarrojo era bastante diferente del estándar infrarrojo IrDA (Infrared Data Association) y no se implementó del todo.

**2.2.1.1 Wi-Fi a/b/g** Una de las aplicaciones inalámbricas más exitosas ha sido la WLAN, la cual está regida por los estándares IEEE WLAN: 802.11a, b, y g. El gran mercado para WLAN dentro del hogar y oficina se ha dirigido a la reducción del precio de venta, lo cual ha convertido el Wi-Fi en un artículo de mercado. La tabla 2 describe cada uno de éstos estándares de red.

Estándares	Frecuencia de operación	Tecnología	Tasa de datos máxima	Distancia máxima
IEEE 802.11b	2.4 GHz	DSSS	11 Mbps	100m
IEEE 802.11g	2.4 GHz	OFDM	54 Mbps	100m
IEEE 802.11a	5.4 GHz	OFDM	54 Mbps	100m

Tabla 2. Comparación de WLAN

El bajo costo de las WLAN's las han hecho populares, en el mercado del hogar y pequeñas oficinas dónde el alto costo del cableado y la estética hace que la solución inalámbrica se haga muy deseable. En las grandes oficinas, sin embargo, las LANs alámbricas aún son populares porque ellas ofrecen un alto grado de seguridad y su cableado es fácil de instalar a través de techos elevados y módulos de oficinas abiertas. Los cableados convencionales de las oficinas para el teléfono y LAN son típicamente instalados simultáneamente a un costo razonable. El propósito de LAN convencional ya se esta cuestionando por las nuevas tecnologías telefónicas las cuales ubican la conexión LAN y la conexión de voz en una misma red Ethernet usando la tecnología VOIP (Protocolo de voz por internet). Con VOIP, la voz se convierte directamente del teléfono a un flujo de datos IP y enrutada en la red IP. Las nuevas instalaciones de oficina se están evaluando y a menudo seleccionan conexiones inalámbricas completas para voz y datos.

La liberación del IEEE 802.11b ofreció una velocidad superior de 11 Mbps, encontrando una aceptación súbita y extendida. Con el volumen de compras de equipos Wi-Fi, el precio bajo sustancialmente haciendo asequibles las unidades que empezaron a aparecer en las oficinas. En poco tiempo, las interfaces compatibles IEEE 802.11a también comenzaron a aparecer, pero su incompatibilidad con el 802.11b ha inhibido el mercado para esta tecnología de alta velocidad. Una vez que el IEEE 802.11g fue aprobado, hizo que de inmediato se inundara de productos disponibles, logrando conexiones de mayor velocidad que esta tecnología prometió. En consecuencia el wireless-G opera a la misma frecuencia como el wireless-B y todos sus chips implementan el protocolo "B"; por lo tanto la adopción de esta tecnología, ha sido rápida y sin dolor. Los usuarios se han dado cuenta que los 2.4 GHz de banda ISM (industrial, scientific, and medical) puede saturarse como resultado del elevado uso de wireless-B y G. Esto ha impulsado nuevamente el interés de Wireless-A, aunque su operación en la banda de 5.4 GHz la hace incompatible con Wireless B y G. El escenario mas probable es que el uso del silicio en Wi-Fi realmente soporte el DSSS usado en el Wireless-B y el OFDM usado para los Wireless A y G así como en los radios de banda dual capaces de operar en las bandas de 2.4 y 5.4 GHz con muy pequeño incremental en el costo. Es improbable que la tecnología de WLAN se detenga en 54 Mbps. Hay propietarios con extensiones G y A que al menos duplican la rata de datos, y el mercado tenderá a favorecer las tecnologías que tengan una alta rata de datos con tal que la compensación del precio sea pequeño.

Conforme la tecnología industrial crece, estas tecnologías de alta rata de datos adelanta la evolución natural de las tecnologías emergentes que no han habilitado la reducción del tamaño de los chips de silicio. En el futuro, la paridad del precio de compra entre las conexiones alámbricas e inalámbricas, harán que las redes alámbricas sufran por el alto costo del cableado físico. El futuro definitivamente es inalámbrico.

**2.2.2 Wireless Personal Area Networks (WPAN).** El subcomité IEEE 802.15 es el encargado de la estandarización de las tecnologías emergentes de las redes WPAN. Éstas incluyen Bluetooth, ZigBee, y Wi -Media (IEEE 802.15.3). Dado que nuestro interés son las redes industriales nos centraremos en las ZigBee.

**2.2.2.1 ZigBee** Es el nombre de un consorcio industrial enfocado en promover el uso de redes de bajo poder para aplicaciones de desarrollo menos exigentes como automatización de la casa (domótica), automatización industrial, automatización de construcciones, y juguetes. Dado que la integridad de la red no debe comprometerse, el énfasis se debe hacer en la conservación de la energía de la batería u otras aplicaciones de potencia.

La ZigBee Alliance ha apoyado el desarrollo de IEEE 802.15.4 para sus propósitos. Hace un tiempo, el Consorcio Home RF se disolvió y muchos de sus patrocinadores anteriores decidieron apoyar a ZigBee. Antes del 2003, había pocas aplicaciones comerciales de ZigBee. Chipcom ha anunciado su soporte en silicio para ZigBee, y Motorola anunció su "solución" 802.15.4. Los dos operan sólo en la banda de 2.4 GHz. Motorola usa su familia de microcontroladores M68HC08 con su paquete de chip de radio RF. Los stacks del protocolo 802.15.4 y ZigBee se implementan por software. Otras funciones, incluyendo aquéllas de Intel, Motorola, Atmel, y Phillips están desarrollándose en silicio. La dificultad principal ha sido alcanzar las especificaciones de baja-potencia necesarias para soportar la batería y las fuentes de poder alternativa, previstas por el comité. Ember Corp ha anunciado que sus productos de EmberNet se están produciendo con silicio de Chipcom para los sensores de red. La red Millennial ha anunciado productos de sensores de red que cumplan las especificaciones de ZigBee. Millennial produce sus productos del i-bean como los componentes para ser usados por productos de fabricantes. Uno de sus recientes productos usa "Energía almacenada" tecnología de Ferro en que la vibración del ambiente se usa para la interfaz de potencia de las comunicaciones, completamente sin la necesidad de las baterías. El consumo de bajo-poder de ZigBee hace posible esta configuración.

El trabajo de desarrollo mas reciente de IEEE 802.15.4 fue apoyado por Mattel debido a su relevancia en los juguetes radio controlados de Mattel, Leviton soporta la luz, vía radio controlada, y El Eaton/Cutler-Hammer para sus importantes productos de automatización industrial de Eaton. Estas aplicaciones han asegurado que los requisitos para baja - potencia permanezcan entre las prioridades de los diseñadores. IEEE 802.15.4 define una interfaz de radio de bajo nivel para una red que es capaz de transportar los datos a través de áreas de alto ruido eléctrico e interferencia metálica en distancias nominales superiores a 100 metros. Además del rechazo al ruido, la norma estipula el uso de la red malla para conectar la línea de vista y para proporcionar una ruta alternativa de enrutamiento en los casos de pausas temporales en la red. La red tipo malla también proporciona una manera conveniente de extender las distancias para las redes de ZigBee, el límite de distancia sólo aplica a la unidad mas distante. El protocolo de ZigBee proporciona el mecanismo necesario para remover los mensajes redundantes recibidos de las rutas alternativas en la malla. IEEE 802.15.4 sólo define las comunicaciones de radio (capa física) y protocolo (capa de comunicación de datos), para topología estrella (punto a punto) y topologías de peer-to-peer. La ZigBee Alliance, tiene definida la capa de red específica para redes con topología tipo estrella, árbol y malla. Adicionalmente, ZigBee define el perfil de la capa de aplicación para varias aplicaciones. Las áreas de aplicación iniciales para las que se desarrollaron son la automatización industrial, la domótica, y la automatización de la construcción.

- Tecnología IEEE 802.15.4.** La capa física y de comunicación de datos para ZigBee se define por el estándar IEEE 802.15.4. La Figura 9 ilustra el alcance de la norma IEEE 802.15.4 y ZigBee. Dos de los propósitos principales para 802.15.4 son el bajo costo y la baja potencia que induce la baja complejidad y simplicidad. En la negociación para los aumentos de la rata de datos, está la complejidad de un protocolo, 802.15.4 usa dos ratas de datos diferentes: 250 Kbps para velocidad alta y 20 Kbps para velocidad baja, en aplicaciones de muy-baja-potencia.

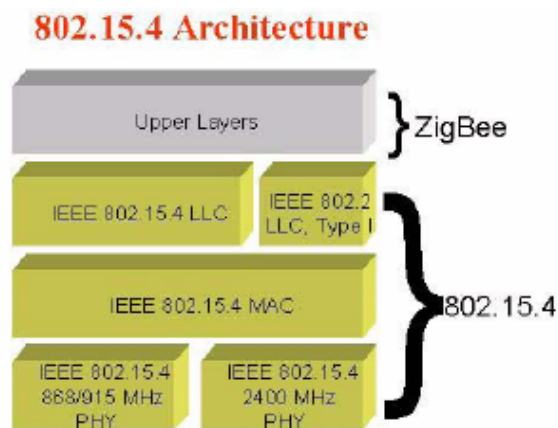


Figura 9. Arquitectura ZigBee (Fuente: IEEE papers)

Las redes de sensores y actuadores usadas en el control de procesos tienden a esparcirse, mientras estos, sigan alineados con las grandes máquinas en la automatización industrial. Típicamente, una red estrella puede ser costosa en términos alámbricos, pero una red estrella es muy simple y barata para las redes inalámbricas en la industria de la automatización y el control de procesos. Sin embargo, cuando la máxima distancia para cualquier dispositivo es excedida, o cuando los dispositivos requieren comunicarse entre los dispositivos locales, la red peer-to-peer puede ser más eficiente. La forma de red peer to peer que se incluye en la capa de comunicación de datos IEEE 802.15.4 es muy simple y habilita la formación de clusters para las topologías de red tipo árbol y malla en la capa de red ZigBee.

ZigBee soporta dispositivos de bajo estado latente. Algunos dispositivos producen datos muy pequeños, como un pulso cuando un evento ocurre, pero se producen muy frecuentes. Los contadores de fotocelda y tacómetros que producen datos de velocidad son algunos ejemplos. 802.15.4 garantiza el tiempo de emisión de los dispositivos en el que los datos se pueden perder o un pulso no puede ser recuperado.

El protocolo básico 802.15.4 es CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). En las redes mas simples se puede usar el modo non-beacon el cual permite colisiones ocasionales y retransmisión. En las redes críticas, se usa el modo non beacon. Aquí, el nodo, actúa como un coordinador de red, arbitrando el tráfico de la red para

prevenir las colisiones por el asignamiento de nodos a uno de los dieciséis slots de tiempo específicos. En las redes grandes de red tipo malla o cluster de árbol, algunos nodos también se asignan para ser enrutadores de red, y estos nodos asignan los slots de tiempo para prevenir las colisiones. Todos los nodos pueden entonces pausarse (modo de baja-potencia) siempre que ellos no se fijen para enviar o recibir durante un slot de tiempo. La Figura 10 ilustra el mecanismo de slot de tiempo para 802.15.5. Los dispositivos se pausan entonces hasta que estén listos para determinar si hay un mensaje, se activan para examinar su slot de tiempo y toma la acción apropiada si hay un mensaje, si no, entonces pueden volver a suspenderse inmediatamente. Se estima que la mayoría de los nodos en una red beacon permanecerá suspendido aproximadamente 97.5 por ciento del tiempo. La suspensión invoca el estado de baja potencia para que el microcontrolador ahorre potencia, así la confusión en la banda de frecuencia puede reducirse, y evitar la mayoría de las fuentes de interferencia.

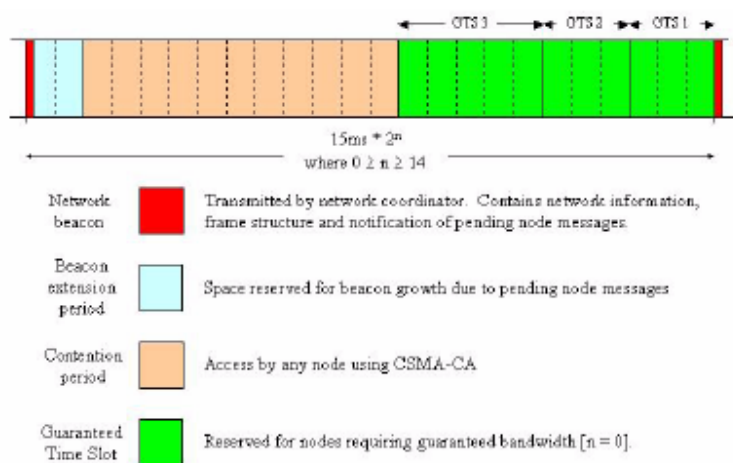


Figura 10. Estructura FRAME para IEEE 802.15.4 (Fuente: IEEE papers)

Normalmente se manejan dispositivos con una dirección (16-bits), que limita el número de nodos en cualquier subred a 255. La subred se define por las estaciones que se manejan por un beacon. En el modo de direccionamiento completo, el nodo puede dirigirse directamente por su dirección de 64-bits, como lo es en la configuración de la red. Cada mensaje enviado a un nodo se reconoce usando una pequeña máscara eficiente. El reconocimiento garantiza la entrega y es la forma de confirmar los servicios que usan el 802.15.4. El consumo de baja potencia se habilita usando un simple protocolo y permite que las baterías de potencia de los nodos remotos se suspendan la mayoría del tiempo. El servicio de tiempo del slot habilita cada uno de los nodos para suspenderse durante la mayoría del tiempo en que están esperando por su slot.

La norma especifica que la tecnología 802.15.4 debe operar a las tres diferentes bandas de frecuencias para acomodar algunas de las asignaciones de frecuencia en los diferentes países en la que se busca la aprobación de la norma. Hay dieciséis canales en la banda ISM 2.4GHz que se aplica en todas partes del mundo, diez canales en la banda

ISM 915MHz son aplicables sólo en América del Norte, y un canal en la banda 868MHz en Europa.

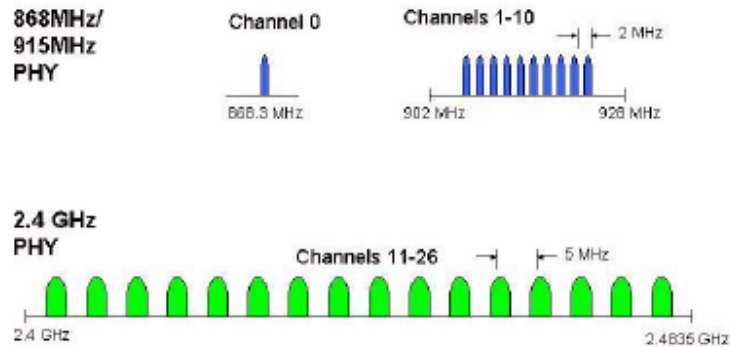


Figura 11. Operación de bandas de frecuencia (Fuente: IEEE papers)

La característica del protocolo 802.15.4 es la contribución a una larga vida de una batería por su bajo duty cycle. Cada batería de un nodo de red se suspende un 97.5 % del tiempo. Los nodos enrutadores activos que generan los beacon despiertan el programa de tiempo de la beacon, y están despiertos más que los nodos finales. El nodo coordinador de la red tiende a ser un nodo de potencia que no está sujeto al consumo de energía reducido. La Figura 12 ilustra la topología de una red de ZigBee.

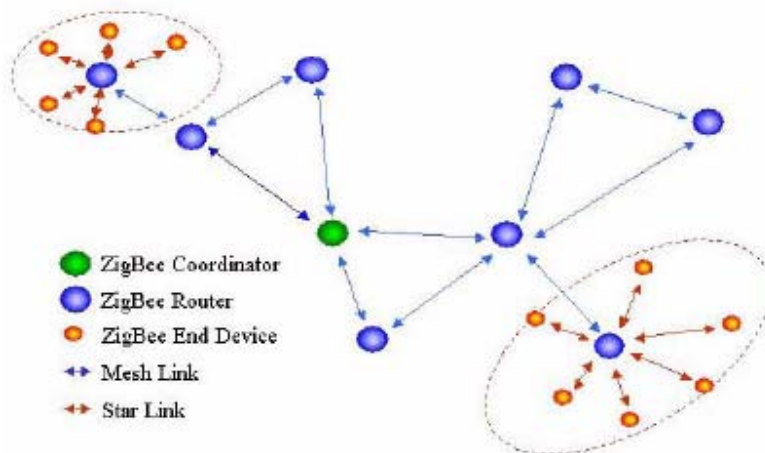


Figura 12. Topología de una red ZigBee (Fuente: IEEE papers)

**2.2.3 Convergencia de redes de Voz y Datos.** La evolución de las redes modernas de voz y datos tienen un gran comercio en común. En algún tiempo, cuando la voz se llevó como una señal analógica, los cambios en la red de voz eran únicos. Gradualmente, las señales analógicas han sido reemplazadas por un flujo digital usado en redes de larga

distancia. Entonces, los switches locales de oficina se han reemplazado por switches digitales que requirieron digitalizar la voz en cuanto ingresaban a la oficina central de telefonía. La última tecnología en telefonía usa VoIP (Voice Over Internet Protocol) en el cual la voz se digitaliza en un handset de telefonía local si existe uno. Los teléfonos inalámbricos que usan PCS digital siempre han sido digitales, lo común ahora es el uso de un protocolo universal, IP, para las redes de voz así como para la de datos.

La convergencia de las redes de voz y datos tendrá una influencia profunda en el desarrollo de las tecnologías de redes futuras. La voz es un mercado muy amplio para la tecnología digital, y es responsable de reducir los costos para los elementos de red de bajo nivel. La red de voz ha usado caminos muy difíciles para el transporte de datos, como los módems telefónicos. Con la tecnología VoIP moderna, voz y datos mezclados en la misma red, reduce el costo de implementar la red de datos al compartir el costo con la red de voz. Hoy, la disputa se enfoca en el conocimiento de la propagación de los " hotspots" de Wi-Fi para el acceso de datos con la alternativa de hacer las conexiones de datos ampliamente disponibles con el uso de la tecnología 3G. Lo único que alimenta esta disputa es la resistencia de los portadores de telefonía inalámbrica para hacer la inversión requerida para la propagación de redes 3G y hacer de manera atrayente el precio del servicio. ¡El problema no es técnico! Si los distribuidores de telefonía inalámbrica entendieran los beneficios de la banda ancha en el servicio de datos extensamente disponible a precios razonables, no habría necesidad de los hotspots de Wi-Fi. Sin embargo, la industria de la telefonía históricamente no ha entendido la necesidad de desarrollar un mercado útil de datos, y tiene precios fuera del mercado en muchas ocasiones. Como resultado, el costo de 3G no es competitivo actualmente con las soluciones Wi -Fi. Sin embargo, la evolución del WCDMA y CDMA2000 1xEVDO ocurrirá antes de que termine el 2008, de acuerdo a los planes actuales de la industria de la telefonía inalámbrica. Por ese tiempo, se espera versiones económicas de 3 G disponibles para la convergencia local de redes de voz/datos, muy parecidas al PBX usado hoy día. Es esta la disponibilidad que puede ofrecer 3G para el uso práctico en la industria de la automatización.

## **2.3 REQUERIMIENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

La automatización industrial es un mercado difícil para introducir nuevas tecnologías. La proporción de aceptación de nuevas tecnologías en la industria es baja a comparación de mercados comerciales, de oficina, o casa. Incluso cuando la tecnología es aceptada por uno de los mercados más visibles, hay problemas especiales del medioambiente que deben superarse. La seguridad y la privacidad son conceptos diferentes en el mercado de la automatización industrial. La confiabilidad, sin embargo, es a menudo el factor dónde algunos sistemas difieren en la implementación de acuerdo a los requerimientos del mercado.

**2.3.1 Ambiental** Hay dos submercados generalmente aceptados dentro de la industria de la automatización:

- La automatización de la industria (instalaciones o fábricas).
- La automatización de procesos.

La automatización de la industria generalmente abarca tiendas de maquinaria, fabricación de productos y ensamble, por lo que normalmente hay movimiento de materia prima, trabajo en ejecución, y envío de productos finales. Por tal motivo, la industria está a menudo sucia, polvorienta, aceitosa, ruidosa, con vibraciones, y ruido eléctrico a causa de motores usados en equipos con requerimiento de potencia. La falta de control de temperatura hace inadecuada la habitación humana. En contraste, la automatización de procesos ocurre a menudo en plantas localizadas al aire libre, y la producción está normalmente oculta de los operadores dado que yace dentro de torres, tanques, equipos, tubos, y vasos de presión. Los productos finales e intermedios son volátiles y algunas veces inflamables o venenosos a los humanos. En la mayoría de los casos, también son corrosivos. Aquí, también, el ruido eléctrico es normalmente alto debido a los motores de los agitadores y bombas de potencia. La temperatura no es controlada, excepto en los cuartos de control los cuales se acomodan para la habitación humana y los requerimientos de algunos equipos. El área del proceso está típicamente sujeta a todos los tipos de condiciones atmosféricas, incluyendo la lluvia, nieve, hielo, viento, y el sol.

**2.3.2 Seguridad** La seguridad en una red de automatización industrial parte del concepto de que la red debe estar protegida contra el espionaje, sabotaje, o ataque. Esto implica una autonomía del riesgo o peligro externo. Es decir, que la red puede depender de la continuidad, para hacer su trabajo de envío de datos cuando y donde desee. Si la seguridad del proceso o la humana es una de las tareas de la red, eso certifica que esta asegurada. El término seguridad a menudo incluye privacidad y confiabilidad, pero este uso dual es incorrecto y será tratado más adelante. Sin embargo, muchas de las soluciones para hacer una red más segura tendrán también un efecto.

**2.3.3 Privacidad** La privacidad se define como la calidad o condición de aislar la presencia o visualización de otros. También podría describirse como el estado de estar libre de intrusión sin aprobación, o encubierto. Si la red de seguridad elimina la intrusión no autorizada, entonces se ha proporcionado eficazmente una solución de privacidad muy buena. Incluso cuando la red esta adecuadamente protegida contra la intrusión externa, todavía debe protegerse contra personas o sistemas internos que acceden o intercambian datos para los cuales ellos no están autorizados. A menudo, el personal que maneja la información (administradores de red) en un área de negocios en particular tendrá el acceso abierto a la red del negocio, pudiendo ellos ocasionar daños imprevistos si su acceso se extiende a la red de automatización. Por ejemplo, un procedimiento común de un administrador es notificar a todos los usuarios de la compañía un evento tal como el reboot de un servidor. En los sistemas operativos de Windows, tales avisos se envían usando el comando NET SEND. Esto crea un mensaje broadcast en la red que pasa a través de todos los switches de la red. Un router que ha sido habilitado para prohibir mensajes de broadcast bloqueará tales mensajes.

El acceso a la red de automatización por personas autorizadas y programas debe permitirse, pero no para personas o programas sin autorización. El bloqueo al acceso a la red se le asigna generalmente a dispositivos llamados firewalls. Por ejemplo, se usan firewalls convencionalmente para aislar una red comercial del internet. Los firewalls trabajan bloqueando el acceso a las direcciones de los puerto IP. Adicionalmente, ellos pueden solicitar una autenticación a los usuarios requiriéndoles un log-on.

**2.3.4 Confiabilidad** Una falla en la red puede significar a menudo fallas en el sistema de automatización del cual depende el control del proceso o la máquina. Cuando una red falla, se requiere algún tipo de respuesta del sistema para llevar al proceso o la máquina a un estado seguro, dependiendo de la naturaleza de los datos en la red. Por ejemplo, si todo el control está en los dispositivos de campo, por lo cual ellos no dependen de la red, entonces las fallas de la red no serán causadas por el control, pero este debe producir una alarma para notificar a los operadores humanos. Si el proceso no puede correr cuando la red falla, entonces algún mecanismo de falla-segura debe implementarse para llevar el proceso o la máquina a un estado seguro.

La mayor confiabilidad en redes cableadas puede lograrse a menudo con componentes premium como los mejores cables, conectores, y terminales así como la electrónica de alta calidad o bastante robusta. La única confiabilidad equivalente logable en las redes inalámbricas es el uso de la electrónica de alta calidad y robustez. La radio de alta potencia puede a menudo doblegar la interferencia, pero la mayoría del tiempo la potencia a radiar está limitada por las regulaciones gubernamentales. La tolerancia a falla es una solución para mejorar la confiabilidad de la red. Las redes que son tolerante a fallas proporcionan más de un camino de red entre dos nodos. Las redes tipo malla son específicamente una solución tolerante a fallas para las redes inalámbricas.

**2.3.5 Potencia** Las redes industriales alambradas por lo general proveen potencia a cada nodo, al mismo tiempo que transportan las señales en la red. En muchas plantas de proceso, la red esta provista de seguridad intrínseca, lo que significa que una rotura en el cable no causará ignición en presencia de gases inflamables. Las redes inalámbricas definitivamente tienen la ventaja de no usar cables por lo que su seguridad es inherente, pero la potencia de los nodos inalámbricos son un problema. La potencia de la batería no es una fuente de poder bien aceptada para los dispositivos primarios de control, excepto para los que tienen suministro de potencia auxiliar. Esta actitud puede cambiar eventualmente, pero una buena fuente de poder primaria, debe mantener energizados los dispositivos inalámbricos. El costo del cableado para potencia es mucho menor que el cableado para las comunicaciones, desde que la fuente de potencia este disponibles.

## **2.4 APLICACIÓN DE REDES A LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**2.4.1 Políticas para Inalámbricas** A la mayoría de nosotros nos gustaría que en la automatización industrial las soluciones estén basadas en los principios de ingeniería y sistemas abiertos, en procura de la competitividad. En otras palabras, nos gustaría

adquirir nuestras soluciones/aplicaciones del proveedor que tenga el mejor producto al mejor precio y que satisfagan nuestras necesidades. Desafortunadamente, la realidad es otra, a menudo, los proveedores tienen un interés en exprimir la última cuarta parte del tiempo de vida del producto, es más, a menudo se percibe la necesidad de hacer un nuevo producto compatible con los anteriores y existentes para mantener la base del cliente. Con este fin, los fabricantes participan en actividades de estandarización y consorcios con la misión de incluir su tecnología en los documentos y estándares resultantes. Desde una perspectiva objetiva, se ve que es cuestión de negocios.

La tecnología inalámbrica es una tecnología disruptiva, y los proveedores líderes en la industria siempre se resisten a las tecnologías disruptivas desde que ellos puedan suministrar productos obsoletos antes de que terminen sus ciclos de vida. Las tecnologías disruptivas ofrecen nuevas oportunidades para nuevos o secundarios competidores dentro de una industria, asumiendo el liderazgo desplazando y atrincherando a antiguos proveedores. En el control de proceso, la introducción del sistema de control distribuido (DCS) fue una tecnología disruptiva, y Honeywell emergió como líder de esa industria, desplazando al líder anterior Foxboro. Fieldbus es otro ejemplo. Emerson surgió como líder de fieldbus, desplazando a Honeywell y empujando a Foxboro mas abajo en el ranking. Actualmente, ningún proveedor de control de proceso tiene adoptado inalámbricas, lo cual indica que nosotros aun no estamos al borde de una revolución disruptiva. Sin embargo, Honeywell ya comenzó un proyecto con el proveedor inalámbrico Ember.

Ningún proveedor de automatización de fábricas ha adoptado inalámbricas todavía, aunque Eaton ha apadrinado tempranamente el desarrollo de IEEE 802.15.4/ZigBee. La transición de las redes industriales a una base Ethernet en esta industria esta en su fase de desarrollo de mercado. Por consiguiente, el interés en la tecnología inalámbrica es actualmente bajo. Sin embargo, incluso antes que las soluciones de Ethernet lleguen a ser el factor estándar en la automatización de fábricas, las inalámbricas tendrán un efecto dramático. Las políticas de inalámbricas tienden a trabajar contra los proveedores conservadores en la industria de la automatización industrial, en el control de proceso y la automatización de fábricas. Las inalámbricas ya han invadido la casa: más del 65 por ciento de las redes caseras es inalámbrica (domótica). Las redes de oficina también están expandiéndose rápidamente a enlaces inalámbricos, especialmente a partir de equipos que son muy económico, altamente confiables, y fácil de configurar. La tecnología inalámbrica está mas extendida en computadores personales lo cual fue una revolución en los PC a mediados de -1980s. Con estas comparaciones, se prevé que las inalámbricas invadirán el futuro con o sin el apoyo de los proveedores actuales. Cuando los principales proveedores se resistieron al PC, el mercado HMI (human-machine interface) empezó a emerger respondiendo las necesidades de la industria. Algo similar puede pasar con las inalámbricas.

Para dar un orden a las inalámbricas, existen normas. Desafortunadamente, hay demasiadas normas, un problema no muy diferente a la situación del fieldbus. Además de las normas de trabajo ya promulgadas, hay también consorcios de la industria separados y productos propietarios de algunos vendedores. Actualmente, no existe una única

solución inalámbrica que sea capaz de resolver todos los problemas de conexión para toda la automatización industrial.

**2.4.2 Wi-Fi** Puede ser usado en cualquier parte en donde el Ethernet alámbrico se usa, y en muchos otros lugares con características hostiles, costosos, inapropiados, u ocupados para una instalación física con cableado. Sin embargo, Wi-Fi tiene muchas limitaciones que pueden hacerla una opción no óptima para una red industrial inalámbrica. Wi-Fi, como Ethernet, esta diseñada para aplicaciones que están permanentemente conectadas. Wi-Fi no esta pensada para aplicaciones móviles, aunque las recientes modificaciones a la IEEE 802.1d permiten alguna movilidad entre los switches de una única red alámbrica. También existen algunas recientes aplicaciones de intercambio de redes inalámbricas en redes Wi-Fi. Sin embargo, para un vehiculo guiado o un camión transportador, el cual está en constante movimiento, esta solución requiere conectarse un tiempo excesivo y a una red aérea. Wi-Fi tampoco esta diseñado para aplicaciones de baja potencia. Las computadoras de bolsillo que usan Wi-Fi operan con batería que experimentan un agotamiento rápido de su carga reduciendo la vida útil de la batería a un 50 por ciento o más. Los instrumentos de campo u otros dispositivos de medición necesitaran una fuente local de potencia para usar Wi-Fi eficazmente.

Los recientes adelantos en las redes inalámbricas permiten el cambio entre los puntos de acceso de Wi-Fi eficazmente en un switch de la red. Tradicionalmente los puntos de acceso Wi-Fi son más como los hubs Ethernet que transmiten todos los mensajes recibidos de la red alámbrica a todos los dispositivos Wi-Fi dentro de su radio. Es responsabilidad de los switches alámbricos que contienen los puntos de acceso que usan el protocolo IEEE 802.1d (tipo árbol) filtrar todos los mensajes que no son de interés para algunas estaciones conectadas a través de un punto de acceso. Los puntos de acceso hoy día están dotados para desarrollar éstas funciones del switch. Sin embargo, los dispositivos móviles deben ser capaces de iniciar un mensaje siempre que ellos se muevan de un lugar a otro, para que la red tipo árbol lo remueva de ese viejo lugar y lo establezca en el nuevo.

Las redes Wi-Fi se pensaron para usarsen en un ancho de banda alto, variando, de 1.0 Mbps a 54 Mbps, y quizás a 100 Mbps según la norma IEEE 802.11n a futuro. El espectro de Wi-Fi se ocupa completamente con el tráfico de la LAN inalámbrica, la telefonía inalámbrica, Bluetooth, los hornos microondas, y otros usos sin licencia. Wi-Fi tiene un rango de aproximadamente 100 m o menos dependiendo en la topología, lo cual es típico en la mayoría de las redes que operan en la banda ISM.

El hecho que Wi-Fi puede fácilmente ser sustituida por Ethernet en casi cualquier aplicación significa que podrá ser usado sin mucha modificación en aplicaciones de automatización industrial, donde Ethernet ya se acepta, para reemplazar Modbus / TCP, el FOUNDATION™ Fieldbus HSE, EtherNet/IP, o PROFINet. Obviamente, su desempeño y seguridad son temas que los diseñadores de redes no consideraron cuando el Ethernet alámbrico era la base de la red, y muchas aplicaciones ignoraron tempranamente estos problemas obvios. Finalmente, los padrinos de las redes necesitarán enfocarse y hacer

publicaciones sobre el desempeño y la seguridad de las redes, basadas en Ethernet usando Wi-Fi.

**2.4.3 Bluetooth** Cuando Bluetooth fue anunciado por primera vez, muchos pensaron que se volvería la red inalámbrica más favorecida para la automatización industrial. Sin embargo, parte de esa premisa se debió a los costo de los nodos de Bluetooth que descendieron rápidamente a tan solo unos “pocos dólares” de igual forma como el volumen de aplicaciones de Bluetooth crecía exponencialmente. La clave del alto volumen de las ventas de Bluetooth era su aplicación central: un auricular inalámbrico para teléfonos celulares. Desafortunadamente, el costo de los auriculares para teléfonos móviles se esta estancando entre un rango de precio de \$60–\$100, limitando los volúmenes de venta del Bluetooth. El mercado grande para Bluetooth aun esta emergiendo, y el costo de los chips sigue siendo relativamente alto para otras opciones inalámbricas.

Una mirada más profunda a la suite íntima de Bluetooth nos revela el significativo overhead (información adjunta a un aviso de red para garantizar una transmisión sin errores al destino correcto) que posee su software, el cual ha complicado la aceptación del Bluetooth para usos diferentes al propósito original para el que fue creado. Aunque el overhead disminuye la eficiencia, el factor más importante es el gran requerimiento de memoria para las aplicaciones embebidas. Esto ha permitido que los protocolos se perfeccionen en otras aplicaciones como ZigBee para la automatización industrial y Wi-Media para video. El futuro para Bluetooth está en manos del Bluetooth SIG, la organización que soporta el desarrollo del estándar Bluetooth. Existe un interés considerable dentro de Bluetooth SIG en simplificar el Bluetooth para aplicaciones que no requieran la voz o video. Algunos de estos intereses son manejados por proveedores que ya han ingresado el Bluetooth en aplicaciones para la automatización industrial y otras aplicaciones similares. Otros miembros del Bluetooth SIG quieren aumentar el desempeño de Bluetooth para usos de datos más tradicionales y redes más grandes.<sup>6</sup>

Bluetooth no tiene un perfil definido para aplicaciones en la automatización industrial, esto se debe principalmente, porque el Bluetooth SIG se enfocó en aplicaciones de telefonía y similares. Para que Bluetooth sea útil para la automatización industrial, a perfiles adecuados, necesitaría desarrollar algo específico para esta aplicación.

**2.4.4 ZigBee** Fue diseñada para aplicaciones en la automatización industrial, siendo su mercado principal. El protocolo se diseñó con un significativo tiempo de reposo del 97 por ciento, ampliando la vida útil de la batería. El uso intermitente del espectro también reduce las probabilidades de interferencia. La rata de datos moderada y el ancho de banda fueron diseñados para aplicaciones de automatización industrial a fin de obtener un bajo consumo de energía durante la transmisión.

---

<sup>6</sup> websites de Bluetooth: [http:// www.Bluetooth.org](http://www.Bluetooth.org) y <http://www.Bluetooth.com>.

Parece ser que ZigBee cumple los requerimientos técnicos para muchas de las aplicaciones de la automatización industrial dónde la transmisión de datos inalámbricos hacia y desde los dispositivos de campo, están involucrados. A estas alturas, la aceptación de ZigBee es incierta. Uno de los fundadores de la ZigBee Alliance es Leviton, uno de los fabricantes más grandes del mundo de tomacorrientes AC, e interruptores. Sin embargo, ellos no han anunciado volúmenes de productos para ZigBee. Honeywell e Invensys están apoyando la ZigBee Alliance, orientados a control de procesos y a productos de automatización de fábricas. Eaton/Cutler-Hammer también apadrina ZigBee.

Ciertamente, ZigBee no soporta funciones de red para backbones de alta rata de datos. Por consiguiente, cualquiera solución para la automatización industrial inalámbrica necesitaría apoyarse en ZigBee y algún otro protocolo de la banda ancha inalámbrica. Además, ZigBee solo no es suficiente, debido a que solo define los medios básicos para comunicaciones de datos. Completando la capa superior seria FOUNDATION™ Fieldbus, Profibus, DeviceNet, o LonWorks, los necesarios antes de que una tecnología como ZigBee puede usarse en un sistema de automatización industrial.<sup>7</sup>

**2.4.5 3G para la Automatización** Por qué es apropiado considerar la telefonía inalámbrica para aplicaciones de automatización? 3G centra su potencial en una rata de datos alta para la transmisión de datos digitales. La industria telefónica quiere usar 3G para video, chat, gráficos, y aplicaciones de correo electrónico complementarias a la voz. Habrá muchas aplicaciones, para estos servicios dentro de la industria, pero 3G comparte muchas de las características deseables de una red inalámbrica industrial también:

- Consumo de potencia bajo
- Rata de datos alta
- Mas que una adecuada distancia de cobertura
- Altos volúmenes de producción orientados a bajar costos
- Altos niveles de protección de seguridad
- Servicios de confirmación y conexión
- Bajo estado latente

Desde que 3G se ha implementado en dispositivos de mano como teléfonos celulares PCS (Personal Communications Services), y la vida útil de las baterías se ha prolongado, el servicio se ha enfocado en ahorrar energía durante una conexión de radio activa. Los chips para 3G consumen un poco más energía que los chips para Bluetooth o ZigBee. De hecho, los requerimientos para un estado prolongado de standby y el tiempo de conversación, están igualmente diseñados para estas tecnologías. El SMS (Short Message Service) que se integra en muchos teléfonos celulares es un ejemplo de un protocolo de bajo consumo.

---

<sup>7</sup> Todo sobre ZigBee en:

ZigBee Alliance, website (<http://www.zigbee.org>)

IEEE 802.15.4, website (<http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>).

La rata de datos para 3G se ha probado excediendo los 2.4 Mbps (CDMA2000 1xEVDO) en aplicaciones estacionario (no-móviles), con un requerimiento de por lo menos 2.0 Mbps. Incluso en aplicaciones móviles, se puede lograr 384 Kbps. Estas ratas se pueden lograr para distancias de 2.5Km o menor entre el teléfono y la torre celular, lo cual es mucho mayor que los requerimientos para redes de automatización industrial.

Con ventas anuales de teléfonos celulares inalámbricos que exceden 460 millones de unidades, el volumen suficiente del retorno del costo es incuestionable. La mayoría del costo de los teléfonos celulares se relaciona a las interfaces del usuario: Los LCDs a color y los teclados. Las aplicaciones de la automatización industrial necesitan solamente el radio y el chip para el protocolo, pero no las aplicaciones usuales de los teléfonos 3G.

El término mas reconocido de la evolución 3G para GSM es WCDMA. La seguridad de los protocolos de los teléfonos celulares CDMA y WCDMA es naturalmente alta, ya que su secuencia de envío de datos empaquetados usa DSSS. Si se intercepta esta señal, se requerirá conocer la secuencia exacta de los paquetes de salida de las posibles millones de combinaciones. Asumiendo que esta barrera se pueda romper, los datos del mensaje, necesitarían ser encriptados usando el estándar IEEE 802.1x, adoptado por la Norma AES (Advanced Encryption Standard) para encriptación con llave larga. Las redes de automatización industrial generalmente han requerido algún tipo de servicio de confirmación para validar que los mensajes críticos se han entregado al destino apropiado. Ésta es una característica de la telefonía y sus servicios de conexión. En aplicaciones de comando y control, una decisión para encender o apagar un equipo es crítica y no debe tardarse. Igualmente, en la telefonía, la voz no puede tardarse. 3G esta diseñada para entregar paquetes de voz digitalizada que tengan baja latencia, lo cual podría satisfacer casi todas las aplicaciones de la automatización industrial. Sin embargo, no es suficiente para decir que 3G es conveniente para la automatización industrial, y son las organizaciones de estándares de redes para la automatización industrial quienes deben especificar exactamente cómo deberá ser usado. Las organizaciones como la Fieldbus Foundation, ODVA, y/o Profibus Internacional, necesitan adicionar sus protocolos de capa superior en la base de las inalámbricas y probar su idoneidad en aplicaciones de automatización industrial por lo menos dentro del campo de uso.

## **2.5 TECNOLOGÍAS FUTURAS**

La red Inalámbrica es el área en cuanto a redes, que recibe la mayor inversión en el desarrollo de nuevas tecnologías. Existe un gran comercio en la propagación de banda angosta convencional y el espectro expandido inalámbrico en frecuencias superiores a 5 GHz. Muchas tecnologías inalámbricas prometedoras también han fallado en el mercado para lo que fueron pensadas. Esto es típico en un mercado joven como lo son las redes inalámbricas. Las siguientes tecnologías aun no están listas para una comercialización completa, mucho menos para el mercado industrial en el cual demanda tecnologías de campo probadas. Sin embargo, debemos ser concientes que los tiempos de desarrollo de tecnologías se han reducido dramáticamente durante los últimos años, fluyendo de manera rápida como no se ha visto antes.

**2.5.1 Redes a partir de los sensores** Durante los últimos diez años, ha habido una visión de sensores inteligentes, capaces de usar cualquier tecnología de red conveniente. Esta visión se ha basado en el trabajo empezado por el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología (NIST), y se ha concentrado en la familia de normas IEEE 1451 para la conexión de transductores inteligentes a la red. La interfaz del microprocesador a los sensores es llamado modulo de interfaz de transductor inteligente (STIM). El IEEE 1451.2, es una norma para el TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) el cual especifica la interfaz digital para acceder a la hoja de datos de los sensores de lectura (transmisores) y para actuadores. El IEEE 1451, es un estándar abierto que se puede usar con múltiples redes, y el IEEE 1451.1 describe el nivel en la red, orientada a objetos de dispositivos 1451. El procesamiento de los datos de los sensores es realizado por la NCAP (network-capable application processor), el cual se empaqueta en los sensores inteligentes. Los dispositivos descritos por la IEEE 1451.1 y .2 son redes independientes. El IEEE 1451.4 mueve el NCAP al dispositivo de adquisición de datos (el cual puede ser una tarjeta de una computadora, un data logger, o una unidad standalone). La intención es almacenar el tamaño de los TEDS lo mas reducido posible. 1451.4 define varias plantillas, las cuales permiten una representación más compacta de los datos. El host deberá entender las plantillas para que decodifique la información de los TEDS. Con la IEEE 1451.4, la red entre el NCAP y el sensor se define como un sencilla multidrop. Este protocolo requiere que un único dispositivo maestro (el sistema) provea energía e inicie la transacción, con cada nodo según una secuencia de temporización de transacción definida, sobre un mismo cable y con retorno.

El trabajo en IEEE 1451 ha sido técnicamente entendible, pero no se ha adoptado o apoyado por cualquier proveedor de la industria de automatización. El concepto de TEDS se originó en el EDS de ODVA por DeviceNet y ha sido expandido por bloques de función de FOUNDATION™ Fieldbus, Profibus EDDS, y HART DDL. Actualmente, las descripciones de estos dispositivos se han unificado por su común inclusión en el IEC 61804, FB (Function blocks) para control de procesos. Incluso en un futuro se vislumbran redes de microondas conectadas a los chips de los sensores para recopilar datos atmosféricos y ambientales. Las redes de datos de sensores con la visión original aún no han sido creadas. Esto parece ser una red de sensores inalámbricos que exhibe muchas de las características de ZigBee: donde solo se despiertan algunos programas para dar su valor y estado, y regresando al reposo para ahorrar energía (batería). Para cubrir una gran área, seguramente se necesite una topología de red tipo malla. Probablemente no se necesiten altas ratas de datos o grandes mensajes, y no requerirá la sincronización de un nodo con otro. Parece que los sueños de las redes inalámbricas de sensores es experimentar con redes exclusivas, pero esto eventualmente se establecerá en ZigBee o algo similar.

**2.5.2 Potencia para dispositivos de red.** Las redes inalámbricas han existido principalmente para dispositivos portátiles o móviles, como celulares y otros dispositivos de radio bidireccional. Las redes inalámbricas LAN WAN, y PAN han introducido un nuevo concepto de conexiones inalámbricas para su propio beneficio, eliminando el costo e inconveniente de las conexiones alámbricas. En los dispositivos portátiles y móviles, se usa como fuente la batería, desde entonces no hay ninguna otra fuente de poder disponible. Pronto, esto cambiará en cuanto las celdas empiecen a ofrecer alternativas a

las baterías para algunos dispositivos. Sin embargo, el asunto de la fuente de poder para los dispositivos inalámbricos LAN, WAN, MAN, y PAN no se discute a menudo.

**2.5.2.1 Óptico.** La potencia puede entregarse a distancia sin necesidad de cables por medio de la aplicación de métodos ópticos. El más conocido método óptico de entrega de potencia es el uso de las celdas fotovoltaicas, conocidas como fotoceldas las cuales usualmente están hechas de los siguientes materiales: Un único cristal de silicio, silicio policristalino, silicio amorfo, y cadmio telúrico. Estos materiales se perfeccionan para generar un potencial eléctrico a partir de la radiación solar, pero solo son usados en dispositivo, como calculadoras, a través de la luz incandescente y fluorescente. La luz láser también puede usarse para entregar energía; sin embargo, los láseres de alta potencia pueden ser peligrosos para los humanos y las aves. Las fotoceldas se usan a menudo como fuente de nodos remotos SCADA.

El uso de luz artificial para sensores con fuentes inalámbricas y otros equipos de automatización no se ofrece actualmente, incluso los dispositivos Bluetooth hoy día usan fuentes. El ingrediente esencial de las fuentes de luz en los dispositivos de campo inalámbricos se han hecho prácticos en la transmisión de radio de baja potencia, tal es el caso del desarrollo para ZigBee. Efectivamente, las fuentes de luz de larga duración pueden ser usadas en futuros dispositivos inalámbricos, como en los protocolos de baja potencia inalámbrica que llegarán a ser aceptados.

**2.5.2.2 Potencia neumática.** La potencia neumática en forma de aire comprimido se requiere para operar procesos de fábrica, y aún son necesarios para operar la mayoría de las válvulas de control de procesos. En consecuencia está disponible en la mayoría de las plantas en la industria; las señales con corriente de 4-20mA para aplicaciones neumáticas, y que se usan en muchos sistemas de control e instrumentación. La idea es conducir el aire comprimido en dispositivos de campo inalámbricos, con la habilidad de generar electricidad a partir del flujo del aire comprimido. Esto se puede hacer internamente en el dispositivo, o en un módulo externo. Un dispositivo muy pequeño necesitaría generar toda la energía requerida para los sensores inalámbricos de baja potencia y/o el posicionador de la válvula de control.

**2.5.2.3 Inducción magnética.** Hasta ahora, no existe la tecnología para enviar grandes cantidades de energía usando métodos inalámbricos sin poner en peligro la vida. El único método ampliamente usado en dispositivos de potencia inalámbricos es la inducción magnética usando bajas frecuencias, menores a 15 MHz, típicamente. Mientras el costo de los componentes para la inducción magnética baja, esta tecnología seguirá limitada a distancias de hasta tres metros y a una baja potencia. Mientras solo estén disponibles para el uso en PAN, por ejemplo como fuentes de auriculares; las distancias aun no son lo suficiente apropiadas, para la automatización industrial en redes LANs, usando inducción magnética.

**2.5.2.4 Transmisión de energía inalámbrica.** La NASA ha estado interesada en transmitir energía eléctrica desde paneles solares en la órbita estacionaria de la Tierra, a estaciones terrestres que estarían encargadas de convertirla en energía eléctrica.<sup>8</sup>

Mientras la fuente de energía sea solar, la transmisión deberá usar un haz de radiación muy extenso dentro del radio de las microondas. Según el SunSat Energy Council, una organización sin ánimo de lucro afiliada a las Naciones Unidas, la radiación sería de una densidad tan baja que no se sentiría calor si pasara a través de ella. Mientras el éxito de este programa está en duda, la tecnología para generar radiaciones amplias de microondas y convertirlas en energía eléctrica se ha conocido desde hace tiempo. Este método puede llegar a ser muy práctico cuando la potencia requerida sea de sólo unos milivatios, pero actualmente no se conocen desarrollos en transmisión de potencia vía microondas en aplicaciones terrestres.

**2.5.2.5 Conversión de energía gastada.** La energía existe en los procesos industriales en forma de vibración, diferenciales termales, flujo de fluidos, y a menudo diferenciales de presión. Estas fuentes pueden ser usadas para generar cantidades pequeñas de electricidad, quizás lo suficiente para sensores de baja potencia con un enlace inalámbrico. Millennial Net, produce I-Bean, que son componentes que pueden ser usados por otros productos manufacturados. Uno de sus recientes productos usa tecnología de "energía de recolección" de Ferro Solutions, Inc., en el cual las vibraciones ambientales son usadas como energía en la interfaz de comunicaciones, sin utilizar baterías.

**2.5.3 Noticias significativas para las Redes Inalámbricas.** Ember y Honeywell han anunciado que ellos colaborarán con \$10 millones de dólares en un proyecto cofundado por la U.S. Department of Energy (DOE). Su meta es el desarrollo de ahorro de energía en aplicaciones de redes tipo malla inalámbricas, que el departamento federal definió como "las industrias del futuro".<sup>9</sup> El proyecto es parte de un programa de U.S. \$61 millones, en pro de mejorar la eficiencia de la energía en industrias estratégicas como los petroquímica, la generación eléctrica, y la manufactura. Ember, un diseñador de tecnología de redes inalámbricas tipo malla inalámbricas, y Honeywell en el negocio de Soluciones de control y automatización ACS (Automation and Control Solutions), crearán una nueva arquitectura para sistemas inalámbricos a fin de minimizar el consumo de energía en facilidades fuertes de la industria. Ember incluirá inteligencia en las redes inalámbricas a los sensores, comunicaciones de radio, y a las tecnologías de seguridad. Ember y Honeywell planean desarrollar aplicaciones supervisorias para detener la pérdida de energía de componentes industriales como trampas de vapor, motores eléctricos, entre otras. Honeywell estima que las aplicaciones supervisorias para redes inalámbrica tipo malla pueden ahorrar hasta 192 trillones de BTUs de energía por año, con costos de reducción correspondientes y beneficios ambientales.

---

<sup>8</sup> Tomado de <http://www.seds.org/spaceviews/9608/nss-news.html>

<sup>9</sup> Tomado de: <http://www.ember.com/news/press/press-121103.html>

**3. INGENIERIA CONCEPTUAL PARA AUTOMATIZACIÓN DE CONTROL DE NIVEL DE CAJAS DE AGUAS LLUVIAS Y ACEITOSAS FASE I**

Dado que la Ingeniería se encuentra bajo un formato exclusivo de la empresa para ingenierías con su contenido específico, se adjunta como texto aparte para no alterar su forma. Ver anexo A.

## CONCLUSIONES.

Las principales ventajas que presentan las redes inalámbricas son la libertad de movimiento, sencillez en la reubicación de terminales, fácil instalación (resuelve el problema de instalación de una red en aquellos lugares donde el cableado resulta inviable), flexibilidad, reducción de costos y fácil escalabilidad, siendo estas variables factores importantes a determinar en redes para la automatización industrial.

Una de las desventajas que tiene las redes inalámbricas es la gran variedad de estándares que están surgiendo en torno a la tecnología de las inalámbricas, es decir estamos en un periodo de crecimiento, por lo que este sería su talón de Aquiles.

Se habla de la inseguridad de las redes inalámbricas, debido a que las señales se encuentran en el aire y cualquiera podría escuchar, haciéndolas mas vulnerables que las redes alámbricas, sin embargo una red típica para automatización industrial es cerrada y de corto alcance (del radio de la planta) y en la mayoría de los casos independientes de la intranet de la empresa. Sin embargo los proveedores de las redes inalámbricas se han preocupado por esta necesidad, existiendo diferentes tipos de seguridad de encriptación como WEP (wireless equivalent privacy), WAP (Wi-Fi protected access), encriptación dinámica, Osa (Open System Authentication), ACL (Access control list), CNAC (Closed Network Access Control), control seguro con autenticación bidireccional, transmisión con FHSS, DSSS, entre otras.

La tecnología inalámbrica está ahora en un período de constante cambio. El ciclo de vida de productos inalámbricos alcanzan una vida media de unos cuantos meses, por lo que los proveedores introducen nuevos productos cada mes para permanecer competitivos, sufriendo la industria los rigores de estos cambios.

Las redes inalámbricas por su esencia, presentan una mayor facilidad en escalabilidad, con respecto a su contendor alámbrico, haciéndolo atractivo en aplicaciones industriales en donde no es fácil implementar una estrategia de escalabilidad con el proceso en operación.

En la ingeniería conceptual se propuso varias alternativas alámbricas e inalámbricas para el control de procesos de un nivel, siendo esta última alternativa la mas escogida por su costo, y fácil instalación a la hora de implementarla.

Los radios con FHSS me garantizan la confiabilidad y seguridad de los datos por el tipo de tecnología que implementa, adicionalmente como es un sistema inalámbrico es apto para

áreas clasificadas en donde la potencia y el cableado debe ser intrínsecamente seguros para evitar riesgos de incendios y explosiones.

Con este estudio y el comienzo de la ingeniería conceptual, estamos generando un nuevo camino o brecha generacional para el control de procesos de una forma segura, confiable, con bajo requerimiento de mantenimiento y de fácil instalación y remoción en la industria, en donde las facilidades de montaje (excavación) para este tipo de implementación se hace compleja si se usa redes alámbricas, dado que se requiere realizar en planta fuera de operación, por los vapores de los productos derivados del petróleo presentes en el área.

Hoy día la tecnología inalámbrica es factible y se abre paso en la industria, debido a los altos costos que conlleva el cableado especial, excavación e instalación a implementar en áreas clasificadas, lo que la hace altamente competitiva a la hora de evaluar soluciones de control y monitoreo.

## RECOMENDACIONES

Salvo unas aplicaciones de Wi-Fi, la industria de la automatización industrial aun no está lista para las redes inalámbricas, se requiere mucho más trabajo y desarrollos en estos sistemas.

Las tecnologías Wi-Fi están casi listas para ser adoptadas por consorcios para la implementación en redes industriales, pero aun falta tiempo para ser implementada por usuarios finales.

Wi-Fi puede probarse en la mayoría de los casos dónde se usen redes basadas en ethernet como la FOUNDATION™ Fieldbus HSE, EtherNet /IP, Modbus/TCP, o PROFINet.

Hoy día, algunas partes que conforman la estructura de una red, deben replantearse para estar seguros, que todos los nodos estén dentro del rango de radio de los puntos de acceso inalámbricos. Al parecer la inversión se puede hacer solo en dispositivos inalámbrico-a/b/g, aun grado comercial, sin ser menos costoso que al grado del hogar (domótica).

Las redes Wi-Fi siempre tendrán puntos muertos que necesitan ser reconocidos durante la instalación de modo que puedan ajustarse los dispositivos en lugares donde puedan recibir las transmisiones. En muchos casos, pueden usarse antenas externas para mover la zona de recepción sin mover la unidad, lo que significa dispositivos que pueden ser comprados con jacks para antena externa. Dependiendo de la aplicación, las antenas externas pueden ser direccionales a fin de extender la red a límites requeridos.

El pago real (retorno de la inversión) de las inalámbricas para la automatización industrial llegará solo cuando los dispositivos de campo estén disponibles con sus conexiones inalámbricas, dado que en ellos es donde se realiza la mayor inversión por la capacidad de la red.

Aunque muchos proveedores intentarán establecer estándares para sus dispositivos, hoy simplemente hay demasiadas variables y preguntas para tomar una decisión:

- ¿Cual estándar escoger, bluetooth, ZigBee, 3G, u otro?
- ¿Cual protocolo de la capa superior debe usarse?
- ¿Qué tipo de fuente de potencia?
- ¿Qué medidas de seguridad/privacidad deberán ser usadas?

¿Debe ser usada inalámbricas para la red del backbone? En ese caso, ¿cual estándar inalámbrico usar?

Éstas son decisiones que pensándolo bien deben tomarse por los comités o consorcios de estándares, y no por proveedores individuales. Actualmente existe una organización que puede darle un orden a esto, la Wireless Industrial Network Alliance (WINA), orientado a estas necesidades. El propósito de WINA no es escribir estándares, sino influir en los cuerpos de los estándares, y asumir los consorcios de las redes. En sus propias palabras, su objetivo es como sigue: “Las metas de WINA están enfatizadas al direccionamiento, y eliminación, de algunas barreras asociadas con la adopción de la tecnología inalámbrica por la industria americana.... WINA debe determinar qué rasgos y desempeños de las redes industriales inalámbricas debe apoyar. El papel es no crear nuevos estándares.”<sup>10</sup> Una de las razones por la que se creó WINA fue para compensar el impulso que Bluetooth había logrado con la influencia de algunos proveedores de Bluetooth SIG. Adicionalmente WINA sabe que existen algunos partidarios de ZigBee.

En la actualidad, ninguna organización está respaldando la adopción de la tecnología CDMA (3G) para aplicaciones en la automatización industrial inalámbrica. Esto podría ser un descuido, o una falta de percepción. Cuando se evalúa Bluetooth y ZigBee para las redes de automatización industrial, se debería también tener en cuenta a WCDMA.

Mientras todas las batallas ocurran en la capa física (transmisión por radio) y la capa de enlace de datos (protocolos), el mejor camino a escoger parece ser, la adaptación a la capa de aplicación de las redes industriales dominantes como: Foundation™ Fieldbus, EtherNet/IP, Modbus/TCP, y PROFINet.

Cualquier aplicación de red que satisfaga las aplicaciones industriales deberá ser analizada, a fin de encontrar el mejor norte para la aplicación de las redes inalámbricas en la automatización industrial.

---

<sup>10</sup> website de WINA: <http://en1.endiva.net/wina/>

## GLOSARIO

**ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO (TDMA):** esquema de multiplexación utilizado como la base para las redes de conmutación y conmutadores de oficinas centrales. Cada muestra de 8 kHz de una señal analógica de una línea telefónica o canal se codifica en 8 bits de información digital. Estos están multiplexados en el tiempo en bytes sucesivos de datos en un bus digital o en un canal de datos.

**ACCESO MULTIPUNTO:** acceso de usuario en el cual más de un equipo terminal es soportado por una sola terminación de red.

**ALÁMBRICA:** una comunicación es alámbrica cuando utiliza canales de comunicación basados en cables metálicos.

**ANCHO DE BANDA:** gama de frecuencias que se ubican entre una frecuencia máxima y una frecuencia mínima.

**ANSI AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE:** Instituto de estándares nacional americano

**ANTENA:** es un equipo utilizado por los enlaces por radio para la transmisión de las gamas de frecuencia. Se puede asociar un pasivo a una antena.

**BANDA ANCHA:** capacidad de transmisión cuya anchura de banda es suficiente para la transmisión combinada de señales vocales, de datos y vídeo.

**BANDA ESTRECHA:** servicio que ocupa una anchura de banda pequeña (generalmente a la velocidad de 64 kbit/s o menor) que sólo permite transmitir unos pocos canales de voz o de datos.

**BITS, BYTES, BIT/S:** el bit es la unidad de cantidad de información electrónica formada por dígitos binarios (por ejemplo, señal de 8 bits. 16 bits, 32 bits. etc.) Bits por segundo (bit/s) es la unidad de velocidad de transmisión: kbit/s significa mil bits por segundo, Mbit/s un millón de bits por segundo. Y Gbit/s mil millones de bits por segundo. Un byte consta de 8 bits y es una medida de capacidad de almacenamiento de datos (por ejemplo, un kilobyte = 1.024 bits).

**BLUETOOTH:** estándar de comunicación inalámbrica que utiliza FHSS, capaz de transmitir a velocidades de 1 Mbps a una distancia de 10 metros entre aparatos (normalmente portátiles, impresoras, monitores, teclados, ratones, etc....) que implementen esta tecnología ya que su FHSS/Hopping Pattern es de 1600 veces por segundo, lo que asegura transmisiones altamente seguras. En cuanto a su implementación Bluetooth utiliza el término piconet. Un piconet es un grupo de 2 u 8 aparatos que utilizan "Bluetooth" que comparten el mismo rango que es utilizado por un "Hopping Sequence", a su vez cada piconet contiene un aparato principal ("master") que

es el encargado de coordinar el "Hopping Pattern" del piconet para que los demás aparatos ("slaves") sean capaces de recibir información.

CDMA: Code Division Multiple Access, Acceso múltiple mediante división de código

CLIENTE INALÁMBRICO (WIRELESS CLIENT): toda solución susceptible de integrarse en una red wireless como PDAs, portátil, cámaras inalámbricas, impresoras, etc...

DIFRACCIÓN: en física, fenómeno del movimiento ondulatorio en el que una onda de cualquier tipo se extiende después de pasar junto al borde de un objeto sólido o atravesar una rendija estrecha, en lugar de seguir avanzando en línea recta.

ESTÁNDAR (STANDARD): norma que se utiliza como punto de partida para el desarrollo de servicios, aplicaciones, protocolos, etc...

ESTÁNDAR 802.11A (802.11A STANDARD): opera bajo la frecuencia de los 5 GHz y permite alcanzar velocidades de 54 Mbps. Sin embargo, en algunos países no tiene vigencia al estar su frecuencia restringida a entornos militares y otros ámbitos.

ESTÁNDAR 802.11B (802.11B STANDARD): trabaja en la frecuencia de los 2,4 GHz, con 13 canales disponibles y posibilita velocidades de 11 Mbps en su primera versión y 22 Mbps en su edición Plus.

ESTÁNDAR 802.11G (802.11G STANDARD): protocolo de comunicación inalámbrica aprobado en abril de 2003 que faculta a operar a 54 Mbps en la frecuencia de los 2,4 Ghz.

ETHERNET: red local de trabajo, en forma de bus, que soporta una velocidad de 10 Mbit/s.

FIBRA ÓPTICA: sistema de comunicación que utiliza como vínculo una fibra, y dentro de la misma se propaga un haz de luz con la información.

FRECUENCIA: cantidad de ciclos por segundo, siendo la definición para el Plan de Obras la siguiente: Banda en la cual se asigna la operación de un radio y la unidad es Hz.

GSM GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS: sistema global para comunicaciones móviles.

INALÁMBRICO: denominación genérica de los servicios de comunicaciones móviles, como celulares, de radio búsqueda o de comunicaciones personales, que no utilizan redes de enlaces fijos para el acceso directo a los abonados.

IP (INTERNET PROTOCOL): protocolo sobre el que se basa el encaminamiento de paquetes, método de comunicación utilizado en Internet.

LAN LOCAL AREA NETWORK (RED DE ÁREA LOCAL). red de alta velocidad que interconecta computadores de oficina. Red de datos de alta velocidad y un bajo nivel de errores que cubren un área geográfica relativamente pequeña (pocos miles de metros). Las LAN hacen la labor de conectar entre si a lugares de trabajo, conectan periféricos,

terminales y otros dispositivos en un solo edificio o cualquier otra área geográficamente limitada. Los estándares LAN especifican el cableado y señalización en las capas físicas y de enlace de datos del modelo OSI. Algunos ejemplos de tecnologías LAN son ethernet, FDDI y Token Ring.

**MICROONDAS:** es un término que se refiere a señales cuyas frecuencias sean mayores de aproximadamente 500 MHz.

**MULTIPLEXOR:** equipo que combina varios canales afluentes en un número reducido de canales portadores combinados, con una relación fija entre los canales afluentes y combinados.

**PROTOCOLO:** conjunto de reglas que deben ser respetadas para que pueda ser realizado un proceso de comunicaciones.

**RED DE ZONA AMPLIA (WAN):** red de propiedad y explotación privadas que ofrece comunicaciones de datos y textos (y a veces vídeo y vocales) entre sitios muy distantes entre sí.

**RUIDO:** perturbaciones indeseadas que tienden a oscurecer el contenido de información en una señal.

**SDH (SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA):** norma de transmisión digital para las comunicaciones en banda ancha.

**SEÑAL:** codificación eléctrica que viaja a través de la línea telefónica y que transporta la información de la voz, o de cualquier aparato terminal conectado al SNT.

**TCP/IP (TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL/INTERNET PROTOCOL):** protocolo de comunicaciones, compuesto de dos diferentes, aun cuando con intereses comunes: TCP es el protocolo de transporte, mientras que IP es un protocolo de red. El uso de este protocolo es habitual, y comienza a extenderse plenamente, tanto en redes locales como en cualquier tipo de comunicación. Su característica se basa en la fragmentación de la información en paquetes, para su envío, lo cual ofrece unas posibilidades sin límite.

## BIBLIOGRAFIA

- Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Segunda edición. México: Prentice Hall, 1996. 858p.
- Cardama / Jofre / Rius / Romeu / Blanch. Antenas. España: Alfaomega, 2000. 454p.
- Rueda Rivera, Jaime. Diseño y concepción de redes LAN y WAN. UIS. Marzo 2000.
- ---.Convertidor de Señales interface 2005. Phoenix Contact. 2005
- <http://standards.ieee.org/getieee802/>
- <http://www.weca.net/OpenSection/index.asp>
- <http://www.bluetooth.com>
- <https://www.bluetooth.org/>
- <http://www.keyserver.net/en/>
- <http://pgp.dtype.org/>
- <http://www.gsmworld.com/index.shtml>.
- <http://www.zigbee.org>
- <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- <http://www.ember.com/news/press/press-121103.html>
- <http://en1.endiva.net/wina/>
- <http://www.seds.org/spaceviews/9608/nss-news.html>
- Jiménez Aguirre, Cecilia. Instituto Tecnológico Superior De Nochistlán. <http://cecy150.tripod.com/pag3.html>

## **ANEXOS**

**ANEXO A**

**INGENIERÍA CONCEPTUAL PARA  
AUTOMATIZACIÓN DE CONTROL DE NIVEL DE CAJAS DE AGUAS LLUVIAS Y  
ACEITOSAS FASE I**



Documento de  
Microsoft Word

**ANEXO B**  
**PAPERS SOBRE INALAMBRICAS EN LA INDUSTRIA**

## INTERFACE Wireless – The wireless signal transmission system for industrial measurement and control tasks

With the new RAD-ISM-2400... wireless product range from Phoenix Contact, analog and digital sensor signals can be received and transmitted safely via a radio link. Planners and users thus have access to a very simple transmission path for industrial fields of application. Signals that could only previously be acquired with a great deal of effort, or not at all, are now fast and simple to acquire. The user always has access to a robust and reliable radio link – be it for a unidirectional or a bidirectional system – Trusted Wireless®.

### INTERFACE Wireless – A radio link for industrial measurement and control purposes

The advantages of a radio link quickly become apparent for an example in process control applications. Levels and control commands for pumps installed at various locations throughout a large tank farm or water treatment plant must be measured and transmitted to a control system on the other side of the stream. Digging trenches, laying cable routes and installing the cables involve high costs. The costs of development and inspection and the time and costs involved in obtaining permits before the start of the project further increase expenditure. A radio link, on the other hand, is fast to install and can easily lead to a saving of several thousand Euros.

Whenever obstacles such as streets, railway lines or rivers have to be crossed, the industrial radio link creates new solutions as a function of the cost of alternatives. Wireless signal transmission is also convincing in the field of mechanical and plant engineering. Flexible cable conduits and slipring or contactless elements susceptible to high degrees of wear in plants or machines. The costs of purchase, servicing and repair, as well as the costs resulting from downtime, make solutions with a slipring or flexible cable conduits expensive. A radio link, on the other hand, is maintenance-free and therefore cuts costs.



INTERFACE Wireless –  
Overcomes obstacles  
and acquires signals in  
places where it is almost  
impossible to cable.



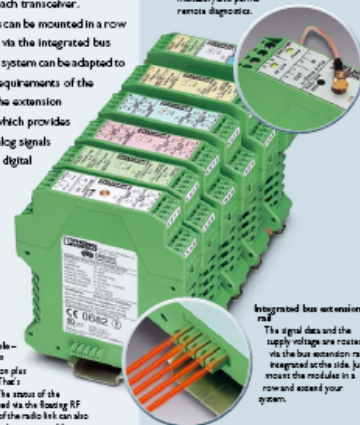
## Bidirectional data transmission – System properties

The bidirectional radio system offers wireless signal transmission in both directions. Two digital signals (5...20 V) and one analog current signal (4...20 mA) can be transmitted with each transceiver. Extension modules can be mounted in a row quickly and simply via the integrated bus extension rail. The system can be adapted to meet the special requirements of the application using the extension modules, each of which provides four additional analog signals or eight additional digital signals.

Diagnostics are part of the package. Power and status LEDs make local diagnostics possible. The floating RF link contact and the analog RSSI signal (received signal strength indicator) also permit remote diagnostics.

### Reliable, flexible, simple – INTERFACE Wireless is

Reliable radio transmission plus additional diagnostics – That's INTERFACE Wireless. The status of the radio link can be diagnosed via the floating RF link contact. The quality of the radio link can also be assessed via the RSSI voltage output. Mounting the extension modules adjacently using the bus extension rail on the side is simple and minimizes wiring. Up to eight of these extension modules can be mounted adjacently, transmitting up to 33 analog or 64 digital signals. No configuration or programming is necessary for setup. Just connect the supply voltage, wire the signals, assign the inputs and outputs if necessary – and that's it!



Integrated bus extension rail  
The signal data and the supply voltage are routed via the bus extension rail integrated on the side. Just mount the modules in a row and extend your system.

Technical data

- Transmission method: FHSS
- Dwell time (cycle time): 27 ms
- Transmission power: 10 mW
- Max. station configuration: 8 modules (up to 33 analog or 64 digital signals) from the accessories range
- Possible scenarios: From the accessories range

### System versions

**INTERFACE Wireless –  
The right structure for every application!**

The unidirectional radio system offers traditional point-to-point connections and multiple receiver systems for signal splitting or signal multiplexing. The bidirectional system can also be configured as a point-to-point or multiple receiver system. Repeater solutions are also possible. Repeater solutions make even greater ranges possible and can also implement radio links around or over major barriers (e.g. mountain tops). Here the transceiver module, which operates as a repeater, acts as a kind of coupling station between the actual radio stations to which the sensors and actuators are connected. Any number of repeaters can be cascaded in order to extend the radio link.

**Bidirectional**

- Point-to-point
- Point-to-multipoint
- Repeater solution

**Unidirectional**

- Point-to-point
- Point-to-multipoint

## Unidirectional data transmission – System properties

Diagnostics are part of the package. Power and status LEDs make local diagnostics possible. The floating RF link contact (radio link quality) and the analog RSSI signal (received signal strength indicator) also permit remote diagnostics.

The unidirectional radio system offers simple yet reliable wireless signal transmission. Users have a whole new alternative for signal transmission at their disposal – without the need for a license or registration. The system can transmit two digital signals (5...20 V) and one analog current signal (4...20 mA) from A to B. Two standard antennas are included in the set in addition to the transmitter and the receiver. Gain and directional antennas are available in the range of accessories.

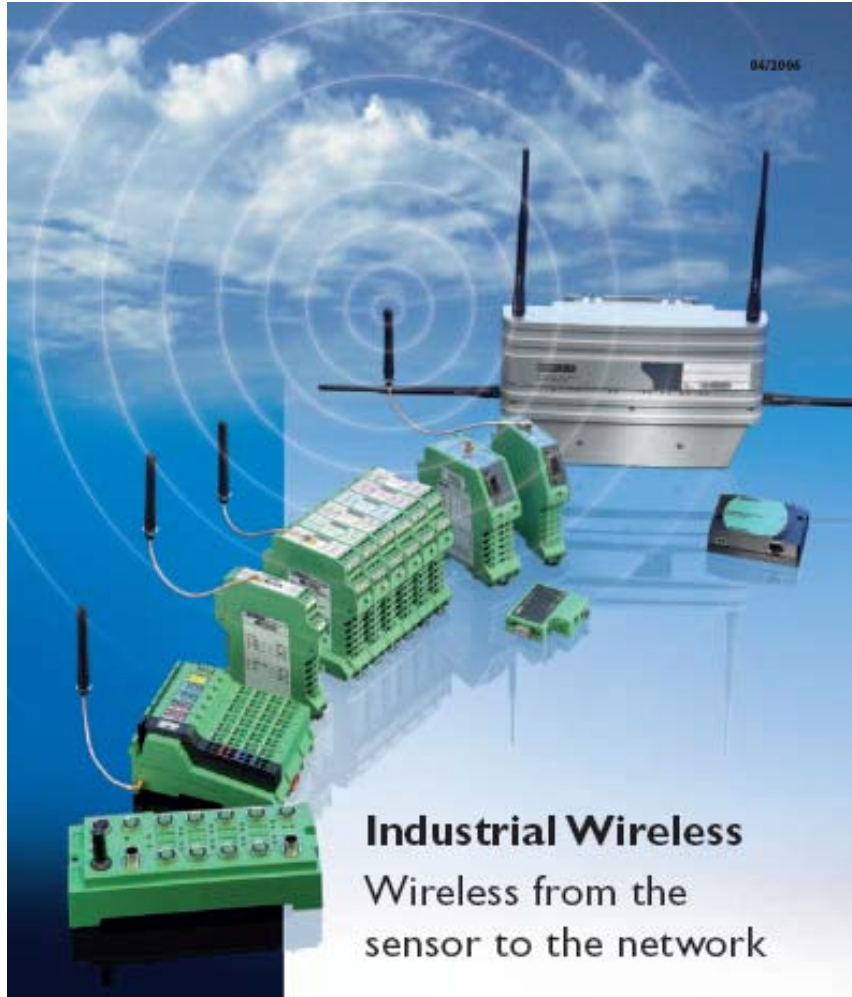


Receiver  
The signals transmitted by wireless link are made available at the receiver in the form of two floating relay contacts and an analog current output.

Technical data

- Transmission method: FHSS
- Dwell time (cycle time): 27 ms
- Transmission power: 10 mW
- Possible scenarios: From the accessories range

Radio technology for industrial applications  
Robust, simple and reliable – A radio link for industrial applications must be all of these. The frequency hopping method and the high band width in the 2.4 GHz ISM band make this radio link extremely robust and reliable. The radio link is set up automatically when the supply voltage is applied and can be diagnosed at all times. You can hardly lay a cable faster!



**Industrial Wireless**  
Wireless from the  
sensor to the network



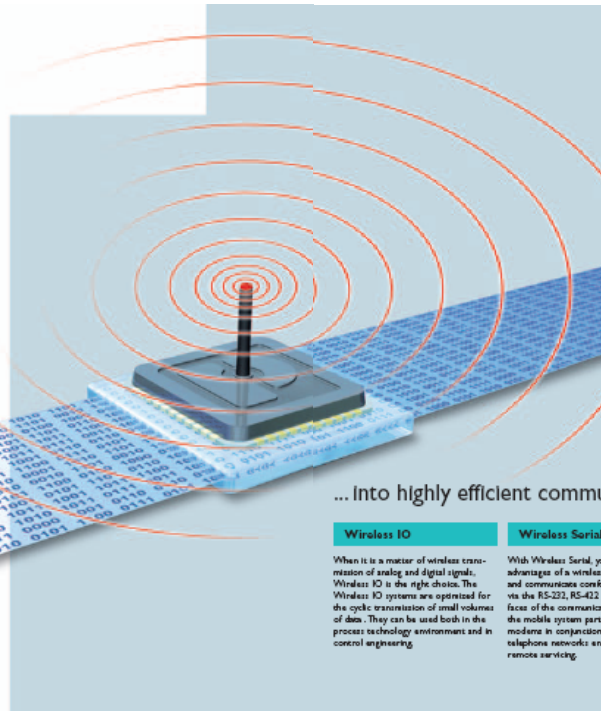
## We convert your requirements...

Installing cables and data lines in extensive systems or replacing worn out drag chains are not the favorite tasks of an electrician – not forgetting the high installation, mounting and maintenance costs.

Modern wireless transmission systems facilitate the installation, cut maintenance and downtime, increase the system availability and thus create an increase in productivity. An absolute prerequisite for industrial use is that the systems meet the stringent requirements with respect to the reliability of data and signal transmission.



2 PHOENIX CONTACT



## ... with Industrial wireless technologies..

In industrial applications, it is the reliability of the transmission system that is of top priority. In this area, the following wireless technologies have proven themselves:

- **Trusted Wireless** as the preferred technology for time-critical signals over "large distances"
- **Bluetooth** as the preferred technology for the integration of automation components in fieldbus or industrial Ethernet networks
- **WLAN (IEEE 802.11)** as the preferred technology for linking a large number of devices or PCs with a high data rate into an IT or industrial Ethernet network.

## ... Into highly efficient communication solutions!

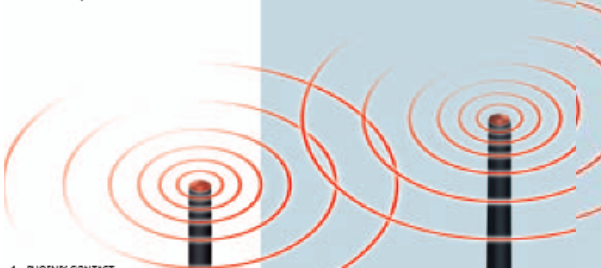
Wireless IO	Wireless Serial	Wireless Ethernet
When it is a matter of wireless transmission of analog and digital signals, Wireless IO is the right choice. The Wireless IO systems are optimized for the cyclic transmission of small volumes of data. They can be used both in the process technology environments and in control engineering.	With Wireless Serial, you can exploit the advantages of a wireless data connection and communicate comfortably and flexibly via the RS-232, RS-422 and RS-485 interfaces of the communication modules and the mobile system parts. Additional modems in conjunction with public GSM telephone networks enable worldwide remote servicing.	Wireless Ethernet allows wireless network communication. Via WLAN 802.11 and Bluetooth, all IP and Layer 2 Ethernet protocols, such as TCP/IP, Modbus TCP or ProfNet, can be transmitted transparently. The Wireless Ethernet systems are characterized by their short and constant delay times.

PHOENIX CONTACT 3

## Reliability across all channels

The most important prerequisite for the use of wireless technologies in industrial applications is that they function just as robust and reliably in the harsh conditions as a cable connection. With wireless communication, the data is transmitted by means of electromagnetic waves through free space that is not available exclusively. This is the reason why the wireless connection is affected by interference such as interference fields, which can have a negative effect on the transmission. It is also possible for reflections, fading, interferences and shadowing to occur.

Despite the influences described, Bluetooth, Trusted Wireless and WLAN 802.11 are interference-free thanks to their particular method of operation. Comprehensive practical tests are proof of this.



4 PHOENIX CONTACT

### Don't be afraid of interference

Electromagnetic interference fields emitted from such devices as frequency inverters or welding from switching operators or welding, do not impair the wireless communication. Their frequency ranges generally only reach as far as the kHz or MHz bandwidth, whereas Bluetooth, Trusted Wireless and WLAN transmit in the high 2.4 GHz frequency bandwidth. License-free wireless systems transmitting on fixed frequency are easy to disturb. This is why Bluetooth, Trusted Wireless and WLAN use a sequence spread procedure to increase the robustness and reliability of the transmission. Since the signal is now transmitted over a broad frequency range, a narrow band interference cannot impair communication.



Trusted Wireless is a wireless technology developed specially for industrial applications. The FHSS procedure is used for sequence spread and guarantees a high degree of immunity to interference. Trusted Wireless is characterized by the following features:

- Long ranges\* typ. up to 3 km
- Cyclic transmission of small, time-critical signal packets
- High local system density of several hundred networks
- Can be operated parallel to WLAN 802.11 and Bluetooth systems without interference
- Wireless paths are simple to set up
- Good diagnostic options



With Bluetooth, that also operates on the FHSS principle, it is possible to set up local wireless networks with up to seven devices. Due to different application profiles, the standard is flexible and can be used for a variety of tasks. Its features include:

- Range\* typ. up to 100 m in industrial halls and up to 200 m outdoors
- Cyclic and fast transmission of small data packets
- High local system density, i.e. interference-free parallel operation of many Bluetooth networks possible
- Interference-free parallel operation of WLAN 802.11 networks
- High data security due to 128-bit data encoding and device authentication.



On a WLAN basis, it is possible to set up powerful wireless networks with numerous devices. In order to suppress interference, the DSSS procedure is implemented. Since WLAN systems integrate well in IT networks, they are ideal for mobile operating and monitoring, as well as collecting data. Protocol transparent transmission allows communication with mobile controllers. Further strengths include:

- Range\* typ. up to 100 m in industrial halls and up to 200 m outdoors
- High data rate of up to 54 mbps gross (approx. 25 mbps net)
- High mobility due to automatic roaming network with several hundred access points.

\* The range can be considerably exceeded or fallen below and depends on the environment, wireless technology and the product used.

PHOENIX CONTACT 5

## System extensions and later installation

In process engineering systems, it is often only possible to collect data from sensors at great effort since the distance to be covered is so extensive or the terrain inaccessible. In addition, there is often not the communications infrastructure in sectors such as the cement industry, in water management, and in power stations, as is necessary to connect extra stations as part of expansion. Since the systems have grown over the course of decades, problems are often due to old cables. The use of Wireless IO and Wireless Serial makes it possible to avoid expensive cable installation and failures or high maintenance costs.

**Collecting data from distant sensors**  
The far-flung sites of a sewage and water treatment plant are spread over a wide area. Collecting data from sensors used for controlling pump stations or storm-water reservoirs is now simple and inexpensive with Wireless IO.



**Simple upgrading**  
In systems that are not easy to access, Wireless IO and Wireless Serial enable simple upgrading and expansion. This makes it possible to dispense with the expensive and time-consuming installation of cables.



## Temporary installation

Many industrial applications require electrical installations only for a certain time, since they are temporary and/or mobile. The particular infrastructure therefore often has to be dismantled and installed again. If data is transmitted from sensors and automation devices by means of cables, this costs a great deal of time and money. And the constant unplugging of the electrical contacts and plugging them back in again leads to a higher rate of wear and consequently possibly to malfunctions. Wireless transmission with Wireless IO and Wireless Serial significantly contributes to cutting expenses.



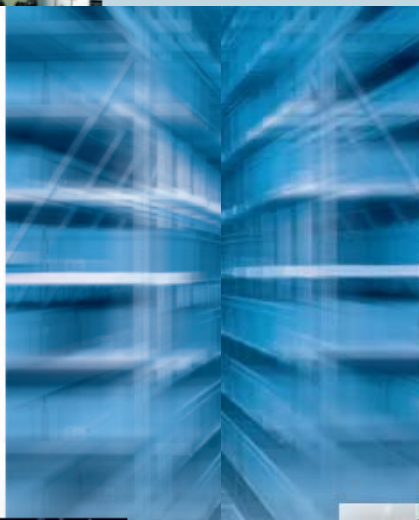
**Short installation times**  
Concrete, full stages, chaser and film sets have to be put up and taken down again as quickly as possible. Wireless-based communication systems are considerably cut installation time and the material needed.



**Changing locations**  
With mobile construction sites or the exploding of raw materials, changing locations are nothing unusual. It is exactly these harsh conditions under which the industrial wireless connectors prove to be of particular benefit.

## Mobile operating, monitoring and programming

If you wish to put a large machine or plant into operation or if you have to carry out maintenance work on it, you will often wish you could move about freely from function unit to function unit without that annoying cable. For such an application, Wireless Serial and Wireless Ethernet are ideal for connecting mobile terminals such as notebooks, Webpads or PDAs to the system network using wireless technology. Whenever you want and wherever you are, you always have access to all the relevant data, thus increasing the availability of the plant and consequently the productivity.



## Dynamic applications

In particular factory automation is characterized by machine parts that are in constant motion. The best example of this are robots that are used in all industrial sectors in the manufacture of products. The disadvantage is that anything that moves wears faster and you therefore have to calculate for the corresponding replacement part cost and downtime. High mobility is the absolute basic requirement for facilities in conveying engineering, such as unmanned transport systems, since they have to be able to react flexibly to the particular situation. Wireless IO, Wireless Serial and Wireless Ethernet guarantee in such cases fast and inexpensive wireless communication.



**Wireless-based dialog**  
Manufacture visualization solutions already run on mobile operator terminals. The user can employ wireless-based devices to access the required information and to report online the data and results collected.



**Worldwide remote maintenance**  
Machines and plants are sold around the entire world. The use of Wireless Serial considerably reduces the maintenance work on the part of the mechanical engineers and plant engineers, since they are able to monitor the machines and carry out maintenance via our GSM modems from anywhere in the world.



**Industrially optimized design**  
In the automobile industry it is possible to replace expensive deep chains and slip rings with wireless transmission methods. Our Wireless IO components are IP67 protected and can be mounted directly on the robot.



**More powerful control concept**  
Electrical overhead suspended rail systems are equipped with numerous distributed controllers. Wireless Serial and Wireless Ethernet are able to provide a high degree of mobility in such cases.

## Our Industrial Wireless product portfolio for your applications

Every application puts its own demands on wireless communication. What all applications have in common, however, is that the wireless components used have to be just as simple to handle and just as reliable as the wired devices.

Phoenix Contact has therefore put its experience in interface and automation technology to use and developed a comprehensive Wireless product portfolio to react to this and other requirements. And it makes no difference whether you are transmitting just a few signals or large volumes of data. No difference whether the communication is in real time over a short distance or over several hundred meters. No difference whether it is a production hall with metal surroundings or outdoors. We will find the right solution for every requirement.

### Wireless IO – Transmission of I/O signals

With Wireless IO, analog and digital signals are transmitted without a single cable. The following systems are available depending on the application:

- RAD-Line IO for absolute modularity and long distances
- Wireless-MUX for the fast transport of cyclic control signals
- Fieldline Modular Bluetooth for the wireless extension of the fieldbus by up to three IO modules distributed in the field.

### Wireless Serial – Serial data transmission

For the wireless transmission of signals from the serial interface, the following product lines are offered:

- PSI-Line Serial for the transmission of the RS-232, RS-422 and RS-485 serial interfaces on a Bluetooth basis to flexibly changing communication modules
- PSI-Modem-Line for worldwide remote maintenance of machines and plants on the basis of GSM networks and GPRS connections.

### Wireless Ethernet – Transmission in Ethernet networks

In order to link mobile devices into the Ethernet network or to create more freedom of movement, the following product lines are used:

- Factory Line Bluetooth for setting up numerous parallel wireless systems with a low data rate
- Factory Line WLAN for connecting numerous devices in a large network with a high data rate.

### Wireless accessories for the indoor and outdoor area

In most cases, additional accessories apart from the actual components are necessary to operate wireless networks. These include various antennas and cables, but also adapters, power supply units, splitters and surge protection, all naturally part of our comprehensive Wireless portfolio.

## Wireless IO RAD-Line IO for unidirectional signal transmission with Trusted Wireless

With the unidirectional RAD-Line-IO modules, two digital switching signals (5...30 V) and an analog sensor signal (4...20 mA) can be picked up and reliably transmitted from the transmitter to the receiver. In addition to point-to-point connections, it is also possible to have multiple receiver systems to multiply and split the signals.

The devices are simple to install and do not need to be programmed or parameterized. Their good diagnostic properties are also a convincing feature. As a result of the certification in acc. with the 94/9/EC (ATEX) and IECEx directives, the RAD-Line-IO components can also be used internationally in potentially explosive areas.

### Far-reaching wireless communication with Trusted Wireless

The Trusted Wireless technology serves to transmit data volumes of just a few bytes over distances up to several kilometers without cables. This technology is particularly robust, a characteristic achieved using frequency hopping. Communication takes place on up to 13 of the more than 600 channels available in the 2.4 GHz frequency bandwidth, hopping from one to another according to a pseudo random principle with cyclic repetitions.

It is thus possible for sources of interference to be tolerated and for several hundred systems to be operated in the same place at the same time. In applications in which the parameters to be monitored change slowly, a transmission time of 27 or 27 ms is generally regarded as "realtime".

**Diagnosis included**  
The floating RF-Link contact and the analog RSSI signal allow continuous monitoring of the wireless path.

### Receiver unit

- RAD-ISH-2400-RX  
Order No. 2867306
- For expansion to point-to-multipoint connections
  - Supply voltage: 12V DC, 30V DC
  - Typical current consumption: 54 mA @ 24 V DC

### Unidirectional radio set

- RAD-ISH-2400-SETUD-ANT  
Order No. 2867383
- Consisting of a transmitter, a receiver and two omnidirectional antennas with connecting cable
  - Two digital signals 5V AC/DC...30 V AC/DC
  - One analog current signal 4...20 mA
  - Supply voltage: 12V DC, 30V DC
  - Current consumption transmitter / receiver: 16 mA/54 mA @ 24 V DC

### The unidirectional RAD-Line-IO modules stand out with the following advantages:

- Wide ranges from several hundred meters to several kilometers
- Robust and reliable communication in an industrial environment
- Easy startup
- Good diagnostic functions
- Efficient transmission of data volumes of just a few bytes
- High local system density of several hundred networks possible
- Can be operated parallel to WLAN 802.11 and Bluetooth systems without interference



**Reliable signal output**  
The signals transmitted by wireless link are made available at the receiver in the form of two floating relay contacts and an analog current output.



The unidirectional radio system offers traditional point-to-point connections and multiple receiver systems for signal splitting or signal multiplying.

## Wireless IO RAD-Line IO for bidirectional signal transmission with Trusted Wireless

The bidirectional RAD-Line-IO system makes it possible to exchange signals in both directions without cables. With the transceivers, it is possible to transmit two digital signals (5...30 V) and one analog current signal (4...20 mA). Since the wireless station can easily be extended by adding up to eight extension modules using the integrated bus foot, the system can quickly be adapted to application-specific requirements. The maximum extension possible allows 33 analog and 66 digital signals to be transmitted.

The wireless components are certified in acc. with 94/9/EC and IECEx for potentially explosive areas. No parameterization or programming is necessary for startup.



**Diagnosis included**  
Power and status LEDs can be read on the device on site. The floating RF-Link contacts and the analog RSSI signal allow continuous monitoring of the wireless path.

**Integrated bus foot**  
The signal data and the supply voltage are routed through via the bus extension rail integrated at the side. This considerably reduces the wiring necessary.

### Bidirectional radio set

RAD-ISH-2400-SET-RD-BUS-ANT  
Order No. 2867733

- Consisting of two transceivers and two omnidirectional antennas with connecting cable
- 2/2 digital In/Out signals each 5V AC/DC...30V AC/DC
- 1/1 analog In/Out current signal each 4...20 mA
- Supply voltage: 12V DC...30V DC
- Typical current consumption: 150 mA @ 24V DC

### Bidirectional repeater set

RAD-ISH-2400-REP-SET-RD-BUS  
Order No. 2865650

- Consisting of two transceivers with transmitter and receiver function and a transceiver with repeater function, without antennas
- 2/2 digital In/Out signals each 5V AC/DC...30V AC/DC
- 1/1 analog In/Out current signal each 4...20 mA
- Supply voltage: 12V DC...30V DC
- Typical current consumption: 150 mA @ 24V DC

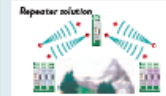
### Transceiver

RAD-ISH-2400-RD-BUS  
Order No. 2867746

- For expansion to point-to-multipoint connections and for repeater circuits
- Supply voltage: 12V DC...30V DC
- Typical current consumption: 150 mA @ 24V DC

The bidirectional RAD-Line-IO system combines with the following features:

- Wide ranges from several hundred meters to several kilometers
- Robust and reliable communication in an industrial environment
- Easy startup
- Good diagnostic functions
- Efficient transmission of data volumes of just a few bytes
- High local system density of several hundred networks possible
- Can be operated parallel to WLAN 802.11 and Bluetooth systems without interference



The bidirectional RAD-Line-IO system makes repeater stations possible that in turn allow wider ranges to be reached and large obstacles to be overcome.

Any number of repeaters can be connected one after the other to extend the wireless path.

## Wireless IO RAD-Line IO for extension modules for communication with Trusted Wireless

There are a variety of different extension modules available to expand the bidirectional RAD-Line-IO system fast and simply, and with which the number and type of signals can be adapted to the special requirements of the particular application. With up to eight modules of the same type or different types, the system can be expanded to a maximum of 33 analog or 66 digital signals.

With dual digital and single analog input and output, the combined analog/digital modules have the same signal function as the bidirectional basic system. The measurement and counter modules make it possible to measure and monitor frequencies and pulses.



International Ex rating



All expansion modules are certified in acc. with the 94/9/EC (ATEX) directives and IECEx and can therefore also be used internationally in potentially explosive areas.

### Digital modules

RAD-IN-8D / RAD-OUT-8D-REL  
Order No. 2867144 / 2867157

- 8 x digital input 5...30V AC/DC
- 8 x digital output, floating N/O contacts
- Current consumption: 20 mA / 80 mA @ 24V DC

### Analog/Digital module

RAD-IN-OUT-2D-1A-I  
Order No. 2867322

- 1 x analog input/output each 4...20 mA
- 2 x digital input 5...30V AC/DC
- 2 x digital output, floating N/O contacts
- Current consumption: 25 mA @ 24V DC
- Resolution: 16-bit
- Tolerance: typ. 0.1%

### Analog modules

RAD-IN-4A-I / RAD-OUT-4A-I  
Order No. 2867115 / 2867128

- 4 x analog input/output each 4...20 mA
- Current consumption: 20 mA @ 24V DC
- Resolution: 16-bit
- Tolerance: typ. 0.1%

### Measuring/Counter module

RAD-IN-2D-CNT / RAD-OUT-2D-CNT  
Order No. 2865223 / 2865236

- 2 x digital input 0.1...30V AC/DC
- 2 passive transistor outputs max. 30V DC
- Input/Output frequency 0.1...10 kHz (50% duty cycle)
- Min. Pulse length: 50 µs
- Max. current consumption: 45 mA / 115 mA

**Integrated bus foot**  
The signal data and the supply voltage are routed through via the bus extension rail integrated at the side. No parameterization or programming is necessary for startup.

### Counting frequencies and measuring pulses

RAD-IN-2D-CNT and RAD-OUT-2D-CNT, the new pulse modules, serve to measure and to output counter pulses and frequency measured values. The release operating mode (frequency/counter) and the necessary clock frequency (low-max. 10 Hz/high-max. 10 kHz) are set via Dip-switch. The modules can be used to measure slow rates and as power resetters or for speed monitoring.

## Wireless IO Wireless-MUX, the wireless multiplexer

Phoenix Contact has chosen Bluetooth for the fast transportation of cyclic control signals. Data transmission is broadband across the entire 2.4 GHz bandwidth using frequency hopping, whereby the 79 hopping channels are swapped approx. up to 1,600 times a second. This makes the system resistant to interference. High receiver sensitivity, very short data telegrams, fault correction mechanisms and repetition three times over in the event of transmission faults guarantee high reliability. In addition, the adaptive frequency hopping automatically takes malfunctioning channels out of the hop table, thus increasing availability further and allowing undisturbed co-existence with other wireless systems in the 2.4 GHz bandwidth.



### Reliable connection

With the Wireless MUX components, 16 digital and two analog signals can be transmitted bidirectionally over a distance of up to 400 m without cables. When the supply voltage is switched on, the signals are transmitted automatically and cyclically in less than 10 ms.

The link quality display provides the user with constant information on the quality of the link. If there is gross interference in the link or it is interrupted, the outputs are reset to a defined state.

### Omnidirectional wireless set

ILB BT ADIO MUX-OMNI  
Order No. 2884209

- Consisting of two fixed pair modules, two omnidirectional antennas with 1.5 m cable and a fixing bracket
- Supply voltage: 19.2V DC...30V DC
- 16 digital outputs with an output current of max. 500 mA per channel
- 16 digital inputs and two analog signals 0 mA...20 mA or 0V...10 V
- Range\*: Up to 200 m outdoors

### Panel directional wireless set

ILB BT ADIO MUX-PANEL  
Order No. 2884509

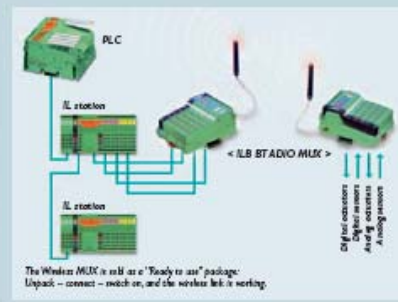
- Consisting of two fixed pair modules, two panel directional antennas with 1 m cable each and a fixing bracket
- Supply voltage: 19.2V DC...30V DC
- 16 digital outputs with an output current of max. 500 mA per channel
- 16 digital inputs and two analog signals 0 mA...20 mA or 0V...10 V
- Range\*: Up to 400 m outdoors

### Our Wireless MUX system features:

- Simple
  - Establishing the connection and transmitting signals is automatic due to the fixed pairs
  - No configuration or settings
- Secure
  - 128 bit data encoding
  - Not visible to other Bluetooth devices
- Reliable
  - Insensitive to the usual narrow-band sources of interference in an industrial environment
  - Permanently malfunctioning channels are taken out of the hop table
- WLAN-friendly
  - WLAN channels are detected and not used
  - The transmission power is automatically reduced to the necessary capacity

The wireless modules are therefore particularly suited for fast transmission of digital and analog signals over short to medium distances\* from up to 100 m in machines and industrial halls and from up to 400 m outdoors.

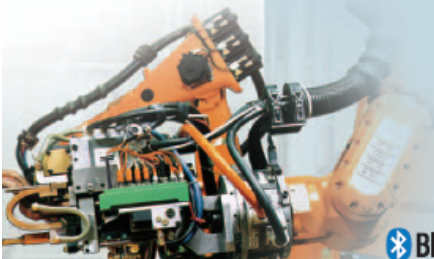
\* The range can be considerably exceeded or fall below and depends on the environment, antenna technology used and the product used.



## Wireless IO Fieldline Modular Bluetooth for wireless fieldbus expansion

The Fieldline installation system from Phoenix Contact can have up to three Fieldline Modular Wireless IO modules distributed in the field added to it via a Bluetooth-based local bus. The base station controls communication with the wireless components automatically and transmits the time-critical process signals in typically 10 ms per module.

Configuration of the devices is a simple matter: The base station writes the connection data to an ID plug that is then plugged onto the wireless modules. The base station can be integrated in all common fieldbus systems using various Fieldline bus couplers.



### Characteristics of the Fieldline Modular Wireless IO system:

- Communication is established automatically
- Simple handling
- High data security due to the 128-bit encoding, for example
- Transmission capacity adapts automatically to the range
- High system density without noticeable loss of performance
- Any interruption in communication is detected, signaled, and the outputs are set to a defined state
- Simple and seamless integration in existing automation solutions
- Can be operated parallel to WLAN 802.11 networks without interference



### Fieldline Modular Wireless IO set

FLH BT DIO 8/8 M12-P2P-SET  
Order No. 2727814

- Base station with a fixed pair Fieldline Modular Wireless IO module
- IO module with 8 digital inputs and outputs
- Bluetooth 1.2, HID profile
- Incl. omnidirectional antenna
- Supply voltage: 19.2V DC...30V DC
- IP65 protection

### Fieldline Modular Wireless IO base station

FLH BT BS 3  
Order No. 2736770

- For up to three Fieldline Modular Wireless IO modules
- Bluetooth 1.2, HID profile
- Incl. omnidirectional antenna
- Supply voltage: 19.2V DC...30V DC
- IP65 protection

### Fieldline Modular Wireless IO module

FLH BT DIO 8/8 M12  
Order No. 2736771

- 8 digital inputs and outputs each, 24V DC, 300 mA
- Bluetooth 1.2, HID profile
- Incl. omnidirectional antenna
- Supply voltage: 19.2V DC...30V DC
- IP65 protection



### The Fieldline Modular Wireless IO system offers the following features:

- Fast data transmission in up to 10 ms per module
- Short range\* of 20 to 50 m in industrial halls and more than 100 m outdoors

The wireless system is therefore particularly suitable for use in mounting, temporarily installed or inaccessible machine units in all industrial sectors, when time-critical process signals are to be transmitted.

\* The range can be considerably exceeded or fall below and depends on the environment, antenna technology used and the product used.

## Wireless Serial PSI-Line for serial standard interfaces

With the PSI-Line Bluetooth converter, it is possible to convert the RS-232, RS-422 and RS-485 serial interfaces to Bluetooth, whereby operation with point-to-point or multipoint connection is possible. In addition to this, the device can be used as access point for Bluetooth-capable terminal equipment, such as notebooks or PDAs, to query operating statuses using wireless technology, as well as to carry out parameterizing, programming and diagnosis tasks.

The Bluetooth path diagnostics indicates the connection quality as soon as the wireless link is put into operation, allowing the external antenna to be ideally positioned. In combination with up to seven devices, a range of up to 150 m and a transmission rate of up to 187.5 kbps is achieved.

### Scalable transmission capacity

The transmission capacity of the PSI-Line Bluetooth converter can be set to -28 to +20 dBm using the software tool included. The coverage of the wireless call can therefore be adapted to the individual requirements.

Bluetooth converter	USB Bluetooth adapter	RS-232 Bluetooth adapter
PSI-WL-RS232-RS485/BT Order No. 2708517	PSI-WL-PLUG-USB/BT Order No. 2313083	PSI-WL-PLUG-RS232/BT Order No. 2708494
<ul style="list-style-type: none"> <li>- For the wireless transmission of RS-232, RS-422 and RS-485 interfaces</li> <li>- HCK connection for external antennas</li> <li>- Range up to 150 m</li> <li>- Supply voltage: 10 V DC...30 V DC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- To plug directly onto the USB interfaces</li> <li>- Internal antenna</li> <li>- Supply from USB interface</li> <li>- Range up to 70 m</li> <li>- Supply from USB interface</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- To plug directly onto 9-pin RS-232 interfaces</li> <li>- Internal antenna</li> <li>- Range up to 30 m</li> <li>- Supply voltage: 4V DC...6V DC via plug-in power supply or USB adapter cable</li> </ul>



Wireless programming access and networking of mobile devices

The PSI-Line Bluetooth converter offers the following additional functions:

- Can be used universally for all serial interfaces
- Serial transmission speed of up to 187.5 kbps
- Range up to 150 m
- Protected access via password, fixed device pairs and device lists

The device is therefore particularly suitable for wireless access to controllers for:

- Programming
- Diagnostics and for wireless networking of mobile devices.

## Wireless Serial PSI-Modem Line for worldwide remote maintenance of systems

The PSI-Line modem can be operated in all 900 and 1800 MHz GSM networks. It enables access to machines and systems worldwide. Using remote maintenance, it is thus possible to avoid downtime and to minimize costs.

For remote monitoring, the configurable warning or alarm inputs are particularly useful. When they are activated, the modem automatically dials a freely defined telephone number and sends a saved text message as a fax, SMS or E-mail. The performance range of the modem is rounded off with the integrated sleep function and the wide supply voltage range of 10 V to 60 V.

### Top security

The GSM/GPRS modem has high-grade electrical isolation and integrated surge protection, so that it functions interference-free even under the harshest EMC conditions.

A wide range of security functions, such as adjustable selective acceptance of calls, connection establishment with password protection, and call back function, protect the system against unauthorized access.



Easy access to remote networks

Remote maintenance for complex systems

In large-scale systems, there are often many controllers networked via Ethernet. Phoenix Contact offers a powerful solution for remote maintenance of such systems, made up of a combination of a PSI modem and a PL Com server. Dialing in is done using a data communications

connection via the PPP protocol (Point to Point Protocol). While connection is being established, user names and password are requested. After successful authentication, the Com server gives the PC that is dialing in an IP address from which the PC can address all Ethernet devices.

### Industrial GSM/GPRS modem

PSI-GSM/GPRS-HCDEM/R5232  
Order No. 2708630

- Can be used in all 900 and 1800 MHz GSM networks
- RS-232 interface
- Supply voltage: 10.8V DC...60 V DC

The PSI-Line modem for GSM networks offers the following features:

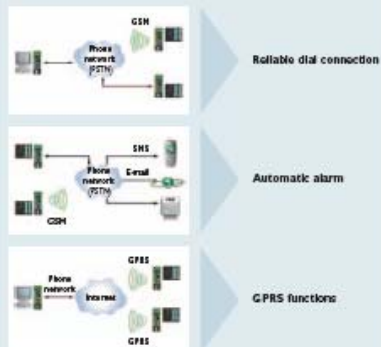
- Simple startup with Plug & Play
- Convenient configuration software
- Proven interaction with the controllers and industrial PCs of many manufacturers.

The device is therefore particularly suited for worldwide:

- Remote maintenance of plants and machines
- Remote programming
- Process data acquisition



24 PHOENIX CONTACT



## Wireless Ethernet Factory Line Bluetooth for network communication

For wireless integration of Ethernet-capable automation components in the network the Factory Line module FL Bluetooth AP is the obvious choice. Since the data is forwarded transparent to protocol, both IP and other Layer 2 Ethernet protocols such as Modbus TCP, Ethernet/IP and Profinet can be transmitted reliably.

The FL Bluetooth AP can be used as an access point for up to seven devices, as an Ethernet client adaptor and as a serial Bluetooth Com server. The net data throughput is 530 kbps with a range\* of up to 100 m in industrial halls and up to 250 m outdoors.



The FL Bluetooth AP is used when...

- Ethernet data have to be transmitted reliably in a harsh industrial environment.
- Many wireless connections are to be opened locally in parallel.
- Small amounts of data are to be transmitted cyclically (e.g. via Profinet IO).
- Existing WLAN 802.11 big systems may not be interfered with.
- A data throughput of 500 kbps is sufficient, e.g. for maintenance and service terminals.
- No more than seven devices are to be coupled to an access point.

### Simple startup

Unpack – connect – and you're up and running! Thanks to auto-configuration, it is possible to set up a reliable wireless connection between two Ethernet devices with two FL Bluetooth APs and no extra configuration. Simple individual adaptation is possible at any time using the integrated Web interface.



### Possible applications:

- 1) Bluetooth access point for wireless connection of Bluetooth-capable PCs, notebooks or PDAs to a network
- 2) Operation as Ethernet Client adaptor for wireless connection of any Ethernet devices to a network
- 3) Integrated Com-Server for the connection of serial Bluetooth devices to an Ethernet network
- 4) Operation as Ethernet Client adaptor to realize a point-to-point bridge



Operation as Bluetooth access point for connecting up to seven devices



Operation as point-to-point bridge to replace the Ethernet cable with a wireless path

### Bluetooth Access Point

- FL Bluetooth AP  
Order No. 2737999
- External antenna, SMA antenna connection
  - Supply voltage: 9 V DC...30 V DC
  - IP20 protection
  - Max. transmission capacity: +14 dBm
  - Receiver sensitivity: -85 dBm

The FL Bluetooth AP stands out with the following features:

- Secure transmission with 128-bit data encoding
- Support for Bluetooth profiles LAN, PAN and SPP
- Delay along the wireless path: typ. less than 15 ms (for an 80-byte Profinet frame point-to-point)
- Configurable range\* from 0.1 m to 250 m outdoors
- An Ethernet client can alternate between several Bluetooth access points in typ. 3 s (Roaming)
- Diagnosis of the link quality of the wireless path
- Automatic regulation of the transmission capacity.

\* The range can be considerably exceeded or fall below and depends on the environment, antenna technology and the product used.

## Wireless Ethernet Factory Line WLAN for network communication

The FLWLAN Factory Line range of products makes it possible to set up wireless networks in acc. with IEEE standard 802.11 b/g in industrial production halls and warehouses. The modules have a sturdy metal housing, high vibration and shock resistance, and a wide temperature range.

In addition to an Access Point, there is also a Dual Access Point with two wireless interfaces and an Ethernet Client adaptor available, over which the Ethernet-capable components can be integrated in the Wireless LAN.

The wireless components can either be supplied with 24V DC or via Power over Ethernet (PoE) with voltage.



### Areas of application

- Setting up a WLAN network is an obvious choice whenever an extensive wireless network with a high bandwidth or special WLAN functions such as roaming are needed. In addition, WLAN also provides centralized authentication as secure network access authorization. Possible areas of application are therefore:
- Mobile operation and monitoring
  - Fast communication from controller to controller
  - Realtime I/O data traffic with Profinet IO systems
  - Setting up redundant systems.

### WLAN Access Point

- 1) FL WLAN 24 AP 802.11  
Order No. 2884075
  - 2) FL WLAN 230 AP 802.11  
Order No. 2884444
- External omnidirectional antenna
  - Supply voltage: 24 V DC (1) or 230 V AC (2)
  - WEP64/128-bit data encoding, TKIP or AES
  - Power over Ethernet (PoE)
  - IP65 protection

### WLAN Dual Access Point

- FL WLAN 24 DAP 802.11  
Order No. 2884279
- External omnidirectional antenna
  - Supply voltage: 24V DC
  - WEP64/128-bit data encoding, TKIP or AES
  - Power over Ethernet (PoE)
  - IP65 protection

### Ethernet client adaptor

- FL WLAN 24 AP 802.11  
Order No. 2884130
- External omnidirectional antenna
  - Supply voltage: 24V DC
  - WEP64/128-bit data encoding, TKIP or AES
  - Power over Ethernet (PoE)
  - IP65 protection



With the WLAN Factory Line family of products, it is simple to set up Ethernet networks

### The WLAN family of products

- includes the following convincing features:
- Ultimate security by supporting the currently highest security standard IEEE 802.11i
  - Setting priorities for network traffic. With user-defined issuing of priorities to allow a maximum throughput for high priority data
  - Comprehensive diagnostics by displaying the receive and noise level and including antenna statistics in order to find the ideal antenna position
  - High levels of availability since the Access Point monitors connection to the clients and when the connection fails, sends a message to the visualization system

## Wireless accessories for the indoor and outdoor area

It goes without saying that we also provide the accessories to go with our Wireless range of products that you need for the indoor and outdoor area. All components are designed for industrial use and therefore function just as reliably as the wireless modules.

By using the RAD-SOL-SET-24-100 solar system, for example, it is possible to collect data from distant sensors without being dependent on the power grid. Charger, solar battery, surge protection and fuses are supplied prewired in a sturdy control cabinet. The solar panel generates sufficient power to supply the wireless system and to recharge the solar battery.



**Solar system**  
 RAD-SOL-SET-24-100  
 Order No. 2885472  
 - Consisting of two solar panels and a prewired control cabinet with charger, two solar batteries, surge protection, fuses and mounting material  
 - System voltage: 24V  
 - Max. load 1-EW (depending on site)



**Adapter**  
 RAD-ADP-NF-N/F  
 Order No. 2867843  
 - N (female) > N (female)  
 RAD-ADP-SMA-F-SMA/F  
 Order No. 2894541  
 - SMA (female) > SMA (female)  
 RAD-ADP-RSMA-F-SMA/F  
 Order No. 2884538  
 - RSMA (female) > SMA (female)



**Surge protection**  
 CN-LB-28DC-BB / Order No. 2818850  
 CN-LB-28DC-3B / Order No. 2818148  
 - Nominal current:  $I_n$  5 A/25°C  
 - Total surge current: (B20)  $\mu$ s of 20 kA  
 - Input attenuation at 2.4 GHz:  $\pm$  0.3 dB



**DC adapter cable**  
 PSH-VLTG-USB/PS2/0.5  
 Order No. 2708805  
 - To supply the RS-232-Bluetooth adapter via the PS2 or USB interfaces  
 - Length: 0.5 m



**Plug-in power supply**  
 IBS ECO LINK NT 130 VAC/5VDC  
 Order No. 2746472  
 - To supply an RS-232 Bluetooth adapter  
 - 130 VAC/5 V DC  
 - With 1.5 m DC cable



**Power supply**  
 MINI-SYS-PS-100-240AC/34DC/1.5  
 Order No. 2866983  
 - Input voltage: 100 - 240 V AC  
 - Nominal output voltage: 24 V DC  
 - Nominal output current: 1.5 A



**Configuration connector**  
 FLH BT ID-PLUG M12  
 Order No. 2736788  
 - To configure the Fieldline Modular Wireless IO modules



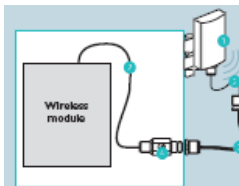
**Antenna splitter**  
 RAD-ISH-2400-SPL-3-SMA  
 Order No. 2885595  
 - Two-way splitter for antenna signals  
 - Accessories: Adapter N (female) > SMA (female), self-vulcanizing sealing tape  
 - IP20 protection (without sealing tape)



**Antenna splitter**  
 RAD-ISH-2400-SPL-4-SMA  
 Order No. 2867856  
 - For connecting up to four receivers to an antenna  
 - Accessories: 2 x terminating resistor, adapter SMA (female) > N (male)  
 - IP20 protection



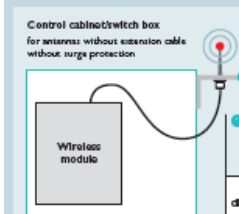
**Weather protection tape**  
 RAD-TAPE-SV25-10  
 Order No. 2885812  
 - Self-adhesive  
 - For outside protection of adapters, splitters or cable connections, water-proof



Control cabinet/switch box for antennas with extension cable

Our wireless modules – with the exception of the PSI-Line Bluetooth converter and PSI-Line modem – are supplied with the antennas and antenna cables necessary for setup. Should you have further requirements with respect to antenna, antenna cable or the surge protection, please refer to the two drawings for the necessary accessories. We will be pleased to help you should you have any questions.

 Panel directional antenna	 Omnidirectional antenna	 Parabolic antenna	 Pigtails EF316 30 cm, 50 cm, 1 m
 Antenna cable EF142 3 m, 5 m	 Antenna cable EF393 3 m, 5 m, 10 m, 15 m	 Surge protection	 Adapter



Control cabinet/switch box for antennas without extension cable without surge protection

In addition to the antenna listed above the following can also be used:

 Omnidirectional antenna	 Vandal antenna	 Mounting bracket
--	---	---



**Panel directional antenna**  
 RAD-ISH-2400-ANT-PAN-8-0  
 Order No. 2867610  
 - Temperature: -40°C to +80°C  
 - IP55 protection  
 - Gain: 9 dBi  
 - Connection: SMA (female)



**Omnidirectional antenna**  
 RAD-ISH-2400-ANT-OMNI-2-1  
 Order No. 2867461  
 - Temperature: -20°C to +65°C  
 - IP55 protection  
 - Gain: 2 dBi  
 - Connection: With 1.5 m cable and HCK connector (male)



**Omnidirectional antenna**  
 RAD-ISH-2400-ANT-OMNI-9-0  
 Order No. 2867623  
 - Temperature: -40°C to +75°C  
 - IP65 protection  
 - Gain: 7 dBi  
 - Connection: N (female)



**Parabolic antenna**  
 RAD-ISH-2400-ANT-PAR-19-0  
 Order No. 2867885  
 - Temperature: -40°C to +70°C  
 - IP65 protection  
 - Gain: 19 dB  
 - Connection: N (female)



**Vandal antenna**  
 RAD-ISH-2400-ANT-VAN-3-0-SMA  
 Order No. 2868867 / SMA (male), 1.5 m  
 RAD-ISH-2400-ANT-VAN-3-1-MCX  
 Order No. 2885702 / MCX (male), 1.5 m  
 RAD-ANT-VAN-PRKT  
 Order No. 2868570  
 - Mounting bracket for panel mounting



**GSM antenna**  
 PSI-GSM-900/1800-ANT  
 Order No. 2708902  
 - for the GSM/GPRS modem  
 - Dual band 900 / 1800 MHz  
 - Temperature: -40°C to +105°C  
 - IP69K protection  
 - Gain: 1 dBi  
 - Connection: SMA (male), with 2 m cable



**Pigtails type EF 316**  
 RAD-PIG-EF316-...  
 Ord.No. 2867870/1 m, MCX (m) > SMA (m)  
 Ord.No. 2867881/50 cm, MCX (m) > N (m)  
 Ord.No. 2867894/30 cm, N (f) > SMA (m)  
 Ord.No. 2867704/50 cm, N (f) > N (m)  
 Ord.No. 2885418/50 cm, SMA (m) > SMA (m)



**Antenna cable type EF142**  
 RAD-CAB-EF142-... M  
 Order No. 2884812 - 3 m length  
 Order No. 2867649 - 5 m length  
 - Connection: SMA (male) both ends



**Antenna cable type EF 393**  
 RAD-CAB-EF393-... M  
 Order No. 2867649 - 3 m length  
 Order No. 2867652 - 5 m length  
 Order No. 2867665 - 10 m length  
 Order No. 2885634 - 15 m length  
 - Connection: N (male) both ends

## The Reliability of Spread Spectrum Radio for Monitoring and Control in Industrial Environments

Wireless radio technology has long been used in the form of fixed frequency radio in our homes and cars and to transmit data in industrial applications. Operation requires a government license that theoretically prevents other broadcast signals inside the "bandwidth" and territory covered by that license. This high power output allows transmission across great distances and "blasting" through obstacles. The downside is an almost immediate drop off in performance if interference (man-made or environmental) moves into the allocated bandwidth. Limited available frequencies also means that users, particularly in urban areas, must often wait years for a license.

To allow greater access and utilize new radio technologies dealing with interference, in 1967 the FCC allocated ISM (Industrial, Scientific, Medical) spread spectrum bands.

Radio technology has been used in the telemetry world for years instead of costly long run cable. Licensed radios and even spread spectrum radios are commonplace in the wide-open spaces of the oil fields and outlying municipal water systems around North America. Here, reliability depends on the FCC maintaining the end-user's exclusive rights to that portion of the bandwidth. Reliability is purchased or, in the case of spread spectrum radios, often maintained simply because there aren't other radios competing for the bandwidth in the same area.

New technology is enabling greater use of spread spectrum radio for monitoring and control in industrial environments. Today, we can securely move small amounts of sensor and control information including transmission of mission critical data through heavy interference. Distances between the transmitter and receiver of 300 feet to 15 + miles are achieved while maintaining reliability and information integrity.

A typical dilemma faced by tank farms illustrates the technology. Scattered I/O from multiple tank levels on one side of a highway must be relayed to a DCS or similar system across the road. Digging trenches, laying conduit, and pulling cable makes acquiring these signals costly - not to mention the costs of engineering and inspections and the time needed to acquire right of way prior to implementing the solution. Wireless I/O interfaces are less expensive - in some cases costing tens of thousands of dollars less.

An industrial wireless I/O interface can send analog and discrete signals from a sensor to a PLC or from a PLC to a pump. In this case, reliably reporting levels, pressure, flow and alarms or to control pumps, valves and switches by updating data far more often than required.

### The Key to a reliable industrial wireless I/O interface

Reliability is maximized through frequent sampling of small data packets. Small information packets are a critical component to designing a reliable industrial wireless interface. Whereas traditional telemetry SCADA requires lots of information to be sent through the air, cable replacements for industrial I/O require only bytes of information to be moved. Since errors occur when bits are received incorrectly, the smaller the packet the less chance for error.

Applications such as alarms are essentially one bit of information that is either ON or OFF (4-20mA current loop output is usually transmitted in one or two bytes). Data checks values to detect changes. Each packet is an independent update, eliminating the need to include networking information. Sampling more often than needed provides real time data and allows data to be lost if the radio environment is cluttered by heavy interference.

Small packet size can also yield more Power Per Bit. Given a pristine radio environment, there is a clear relationship between speed and distance (here, speed equates to baud rate). In a setting with no interference, if one watt of transmit power is applied to a transmitter sending out information at a slow speed, that radio will fire its signal farther than a radio sending out information at a high speed. The more Power Per Bit, the better able you are to penetrate walls, bounce around tanks and propagate through maze-like metallic structures. The flip side is that more bits per second in transmission reduces Power Per Bit. Therefore, in applications where I/O is moved 300 feet to 15 miles, a small number of bits stand a better chance of making it to the receiver than a large number.

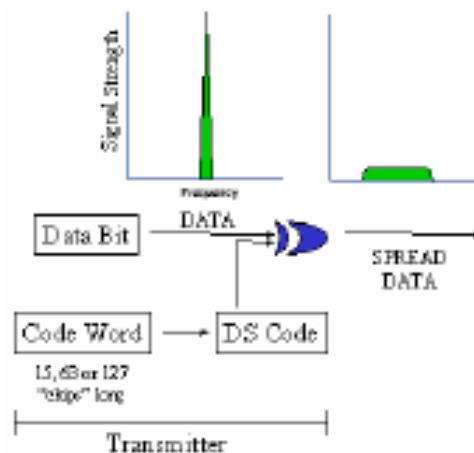
**The Types of Spread Spectrum:**

FCC allows two methods for building a license-free spread spectrum radio: Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) or Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Differing physical mechanisms for dealing with and rejecting interference means DSSS and FHSS behave differently in industrial settings.

Interference and how DFSS and FHSS address it are vital to understand. Wireless radios encounter interference through EMI or RFI from industrial equipment; from other licensed users (even in ISM bands), or from unlicensed radios (especially in ISM).

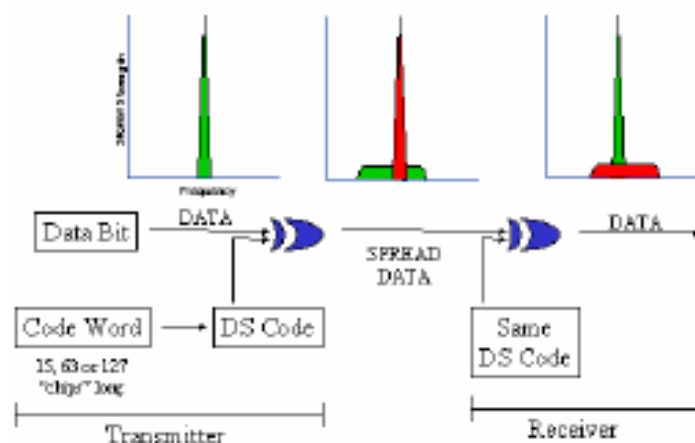
In DSSS radios, a data packet starts out as "narrow data." It then generates a random code word for every bit in that packet. These code words spread the narrow data being sent and "widen" it across a much wider bandwidth.

Signal strength at any one frequency is reduced as the energy is spread.



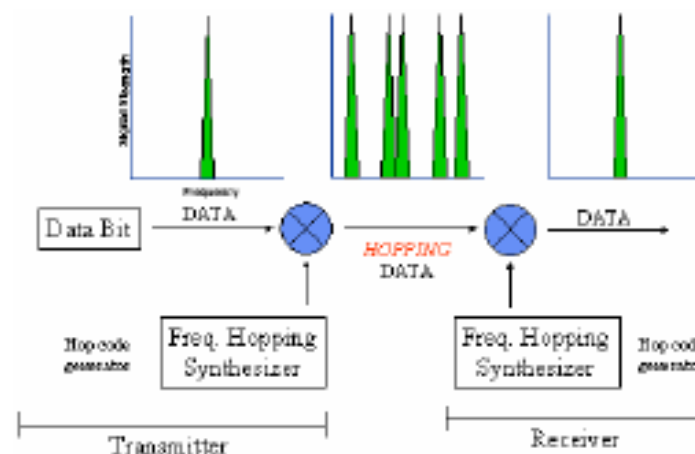
The spreading code is re-applied at the DSSS receiver. The signal is de-spread and data is retrieved. Cancelling spreading leaves data in its original state.

Narrowband interfering signals pass through only one spreading code generator (entering after the transmitter, but before the receiver) and are spread by the same code de-spreading the original data.



Reliability depends on the signal strength and Signal to Interference Ratio to get by the widened interferer. In short, as the power of the interfering signal increases, the threshold is reached and the radio falls.

With FHSS radios, the complexity lies with the hopping synchronization of the narrow data signal that remains unaltered. Data remains narrow from transmitter to receiver. The FHSS radio is a narrow band fixed frequency radio - but only for an instant - before it hops to another fixed frequency radio on another channel, and then another, and another, and so on. And it has plenty of room to hop. The 902-928MHz ISM frequency band is wide enough to hold approximately 1000 licensed narrowband radios.



Small packets of data are sent to the receiver with hops in a pseudo random pattern to more than 50 different frequencies around the band, before repeating the hopping sequence. Encounters with a significant interfering signal on a frequency generate error detection and the packet is discarded. The

hopping sequence continues and data updates are resumed. Interfering signals can knock one packet out of a FHSS radio's hop pattern, but the rest of the updates get through, no matter how powerful the narrowband interference.

This is very different from DSSS, which maintains error free transmission of its data until the interferer goes over the top of its jamming margin, at which point the throughput of the DSSS quickly drops to zero...not appropriate for mission critical industrial I/O.

FHSS radios do not "avoid" interference, they "tolerate" it. Each packet is checked and when interference is encountered, the bad packet is not processed. As the hopping pattern continues, the radio moves along its sequence looking for the next packet to get through cleanly, at which time the good data is output. Slow and steady, FHSS radios are the industrial I/O tractor.

FHSS also has the unique advantage of being a small moving target. Throughput does not cease until the entire ISM frequency band at any one location is theoretically plugged. This enables the FHSS to reliably get small redundant messages through areas of heavy interference even as interference increases.

In a low to medium interference environment – one in which the interfering signal strength is below the jamming margin of the DSSS – 100% of the DSSS message will get through while the FHSS will experience packet losses due to the interference. In this case, the DSSS radio is a good choice for large packet messages.

In heavy interference environments– where interfering signals exceed the jamming margin of the DSSS – the DSSS radio will cease to work. The FHSS continues to function until the entire ISM frequency band is jammed (a very unlikely scenario). FHSS is the perfect choice for small packet redundant data – for example, alarm and emergency stop signals – because even though packets are lost, others get through.

The redundancy of data transmission and small packet size make FHSS the preferable choice for industrial wireless I/O applications such as simple analog and digital signals. The technology provides reliability even in confined environments where many FHSS radios operate.

FHSS industrial strength radios including DIN rail mount wireless I/O (such as DIN rail mounted version from Phoenix Contact), are rapidly gaining market acceptance. New technology will continue to improve application usage making wireless I/O commonplace in harsh industrial environments in the years to come.

**ANEXO C**  
**TRANSMISION INLAMBRICA VIA RADIO PHOENIX CONTACT**



# PIENSE

## INALAMBRICO

Ahorre tiempo y dinero con el sistema de transmisión / recepción inalámbrico para señales de campo RAD ISM de Phoenix Contact.



RAD ISM es ideal para piso de planta, industria de manufactura, tratamiento de agua potable / agua residual, petróleo y gas, petroquímica y otras aplicaciones industriales.

El sistema inalámbrico RAD ISM para reemplazo de cables, permite establecer una interfaz confiable entre dispositivos remotos y el cuarto de control. Imagine su labor de montaje sin tener que pensar en:

- Cable y conduit.
- Excavación y taladrado
- Montaje de andamios y equipos de seguridad.
- Cementado
- Mano de obra y permisos.

- Hasta 33 señales 4..20 mA ó 66 señales digitales
- Aprobación Cl. I Div.2 UL, CUL, CSA
- Fácil de usar: cableado a la entrada, cableado a la salida, sin configuración requerida.
- Rango entre 600 y 1000 ft sin línea de vista. Opción de configuraciones personalizadas con alcance de hasta 20 millas.
- Libre de interferencias, tecnología spread spectrum de salto de frecuencia.
- Banda de frecuencia de libre uso



Mayores informes: Colseín Ltda. – Colombia.  
info@colsein.com.co

**ANEXO D**  
**DATA SHEETS TRANSMISORES INALAMBRICOS**

## RAD-IN-4A-I

### Extension Module



Data Sheet

01/2005

#### Functional Description

The bidirectional functioning wireless system RAD-ISM...SET-BD-BUS-ANT consists of two so-called transceiver units. The transceivers can transmit and receive radio signals – Transmit and receive management is automatic.

Extension modules can be added to this system to adapt the number of signals to be transmitted (digital or analog) to the requirements. The bus extension rail

plug connector is responsible for the power supply of the extension modules and communication via an internal data bus.

Using the analog extension module RAD-IN-4A-I, four analog signals (4...20 mA) can be input and mapped via a corresponding analog output module, RAD-OUT-4A-I.

#### Technical Data

Power Supply	
Supply voltage $U_B$ (via bus extension rail)	24 V DC
Tolerance	-50% / +25%
Current consumption (at $U_B$ )	130 mA, max. 30 mA ( $I_{CP}$ ), typ. 100 mA ( $I_{CA}$ ), typ.
Analog Input	
Signal range	4 mA...20 mA
Overrange	10%
Underrange	5%
Input resistance	< 170 $\Omega$
Tolerance at 25 °C	$\pm 0,075\%$ , typ. / $\pm 0,225\%$ , max.
Temperature coefficient (20°C...+55°C / 4 F...+140°F)	0,007%/K
Supply for Passive Sensors	
Supply for passive sensors	$U_B$

## RAD-IN-4A-I

Climatic Data	
Ambient temperature	
Operation (IEC 60068-1/UL 508)	-20°C...+55°C (-4°F...+140°F)
Storage	-40°C...+85°C (-40°F...+185°F)
Relative humidity	20%...85% (no condensation)
Displays	
Status LED	ON / OFF / Flashing
General Data	
Housing material	Polyamide PA non-reinforced
Degree of protection	IP20
Mounting	On profile rail TS35 in acc. with EN 60715
Installation position	As desired
Dimensions (W x H x D)	22.5 mm x 90 mm x 114.5 mm (0.886 in. x 3.543 in. x 4.508 in.)
Weight	145 g approx.
Conductor cross section	0.2 mm <sup>2</sup> ...2.5 mm <sup>2</sup> (AWG 24...12)
Approvals	
CE	See page 7
RoHS	TELEMETERING EQUIPMENT FOR HAZARDOUS LOCATIONS LISTED EXO Class I Div 2 Groups A, B, C, D T5  These devices must be wired in accordance with Class I, Division 2 wiring methods as described in the National Electrical Code, Article 501-4(b) or the authority having jurisdiction. Transmitter unit is to be used with a purely resistive antenna when installed in Class I, Division 2 areas.

#### Ordering Data

Description	Order Designation	Order No.
Extension module	RAD-IN-4A-I	28 87 11 5

102120\_02\_en



1

2



102120\_02\_en

## RAD-IN-4A-I

## RAD-IN-4A-I

### Block Diagram

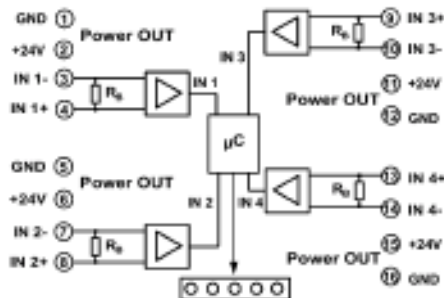


Figure 2 Block diagram

### Installation

The module are snapped onto a standard rail within a control cabinet or switch box.



The control cabinet or switch box must comply with the specifications of EN 60500-1:2001 with respect to fire enclosure.



A two-position isolating facility must be provided for in the electrical system of the building in order to isolate plant from the supply power circuit.



When working on the control cabinets, the operating personnel must first discharge electrostatic charges before opening switch boxes or control cabinets and before touching the assemblies (to protect the assemblies against electrostatic discharge).

#### Assignment of Input and Output Devices

In order to enable the transmission of signals, it is necessary to provide the input device with a corresponding output device and assign it to it. This is done with a rotary switch (Figure 1, Pos. 5) with the corresponding coding of 1 to 8.

The input device must have the same coding as the output device at the other end of the transmission system.



The number of extension devices is limited to eight extensions per system.

#### Indication and Diagnostic Elements

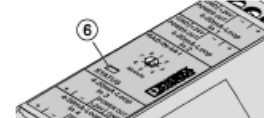


Figure 3 LED: Status

As soon as the radio connection has been established between the transceiver devices and it is possible to transfer signals between the input module and the corresponding output module, this is displayed on the status LED (6) (LED ON).

If no corresponding input module is found (e.g. incorrect addressing), the status LED flashes.



Whenever the coding is altered, a new power-up is necessary for the configuration to be accepted.

#### Analog Inputs

The four analog inputs of the extension module are not electrically isolated from one another. A supply voltage of 24 V DC is available at the connecting terminal blocks for the use of passive sensors (for pin assignment, see Figure 2).

102120\_02\_en



5

## Wireless Interface RAD-ISM-900-SET-BD...

Two-way (Point-to-Point) Monitoring  
and Control with Expandable I/O Options

Data Sheet 1655B

February 2008



### Features

- Modular DIN-rail mount transceiver and I/O
- No programming required
- Class I, Div. 2 approved
- Up to eight (8) expandable I/O modules per transceiver on common power and communications bus with multiple combinations
- Maximum thirty-three (33) analog or sixty-six (66) discrete signals in one direction
- Dry contact LINK diagnostic output

### Typical Applications

- SCADA systems
- PLC/RTU extensions
- Pump controls
- Tank level/pressure/temperature monitoring
- Water/wastewater
- Petro-chem

### Description

The Phoenix Contact RAD-ISM-900-BD is an integrated radio & I/O module designed for bi-directional interfacing of a 4-20mA current loop and two digital signals in harsh industrial environments. This unique design also allows the user the flexibility to add on multiple channels of I/O to the paired transceivers in combinations. The Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) utilizes 902-928MHz ISM band to guarantee a license free, interference free link between remote devices and the control room. The design is ideal for moving numerous signals within high interference environments without costly cable and conduit runs.

**Wireless Interface RAD-ISM-900-BD...**  
**Two-way (Point-to-Point) Monitoring and Control with Expandable I/O Options**

<b>Engineering Specifications</b>	
Range .....	800 to 1000 feet (180 to 305 m) in-plant (obstructed); 4 to 5 miles ( 6 to 8 km) line-of-sight with Omni antenna; 20+ miles (32+ km) line-of-sight with Yagi antenna
Inputs.....	One (1) 4-20 mA analog (16-bit resolution; 125 ohms impedance) Two (2) discrete (5 to 38 V dc)
Outputs.....	One (1) 4-20 mA analog (16-bit resolution; short-circuit protected) Two (2) discrete (dry contact, Normally Open (NO), contact rating: 250 V ac/5 A)
I/O Expansion.....	Eight (8) analog and/or discrete I/O modules per transceiver station
Accuracy.....	Current loop: 0.2% of full-scale @ 77°F (25°C)
Repeatability.....	Current loop: 0.02%
Wiring Connections.....	12-24 AWG screw-type terminals; removable terminal blocks
Mounting.....	DIN-rail mount
Power (Input voltage).....	9 to 30 V dc
Power Consumption.....	.75 mA at 24 V (average) 200 mA at 24 V (peak)
Reverse Polarity Protection.....	Yes
Surge Protection.....	Yes
Temperature Rating.....	-40°F to 158°F (-40°C to 70°C)
Humidity.....	20% to 90% (non-condensing)
Dimensions.....	4.5" x 3.9" x 0.9" (114 mm x 99 mm x 22.5 mm)
LED Indicators.....	External (Power, RF Link, I/O Status)
Unit ID.....	Factory configured (unique); 16-bit coding of each transceiver pair allows multiple units to be used in the same area (easy configuration of spares with HopKey)
Frequency.....	902 to 928 MHz - license-free ISM band
Transmit Power.....	1 Watt (30dBm)
Antenna Connector.....	MCX (female)
Environmental Rating.....	NEMA 1 (equivalent to IP30)
Approvals.....	USA - FCC Part 15.247 Canada - ISC RSS 210
Certifications.....	CSA/C & US UL - Class I, Div. 2 (Groups A, B, C, D - pending)
<i>Specifications subject to change without notice</i>	

**RAD-ISM-900-SET-BD Components**

The RAD-ISM-900-SET-BD base system includes the following items:

- Two RAD-ISM-900-BD transceiver modules
- Two 3' 1/4 wave whip antennas, each with 6' of RG174 cable. The antennas can be mounted on an "L" bracket (also supplied) inside or outside a cabinet.

**Ordering Information**

<u>Part Description</u>	<u>Part Number</u>
RAD-ISM-900-SET-BD-ANT Transceiver set	2867270
RAD-ISM-900-BD	2867092
spare transceiver (can be used as repeater or in simplex mode for expansion)	

**Expandable I/O options**

<u>Part Description</u>	<u>Part Number</u>
RAD-IN-4A-I	2867115
RAD-OUT-4A-I	2867128
RAD-IN-8D	2867144
RAD-OUT-8D-FEL	2867157

## RAD-ISM-900-UD-SET-Ex



Data Sheet 1932A

January 2004

### Radio Features

- Wireless conduit for one 4-20mA and two digital signals.
- Range: 600 to 1,000 feet no line-of-sight.
- Easy-to-use, wire in-wire out, no setup or programming.
- Frequency Hopping Spread Spectrum technology.
- License-free 902-928MHz ISM band.
- 1 watt transmit power.
- Class I, Div. 2 approved for hazardous area installation (UL, cUL approved).

### Housing Features

- UL/cUL C1D1, Groups B,C,D.
- Rainproof NEMA 4X, IP66.
- Corrosion resistant aluminum alloy.
- Two 3/4" NPT conduit feed-through hubs.
- Factory sealed pig-tail wires.
- Glass dome for maximum RF signal transmission and visual inspection of LEDs.
- Safety Blue polyester powder coating.



Figure 1. RAD-ISM-900-UD-SET-Ex



### Description

The Phoenix Contact wireless C1D1 design was created as a quick, simple, and reliable low cost solution for moving one analog and two discrete signals out of a hazardous Div. I area to a safe area, eliminating the need for costly, time consuming conduit and cable runs in hazardous areas. This unique solution utilizes the 902-928MHz ISM band and Frequency Hopping Technology to guarantee a license free, interference free link between the hazardous area and safe area. The Phoenix Contact RAD-ISM-900-UD-SET-Ex includes the radio pair and an ADALET NEMA 4x, XIHL housing. The dedicated radio transmitter is preinstalled in the ADALET housing with pre-terminated wire leads extending from a 3/4" factory sealed hub.

Typical range is 600 to 1,000 feet with no line-of-sight. The wireless transmitter housing can be mounted directly to 3/4" NPT conduit or using the adapter plate be mounted to a sturdy flat surface. The ADALET Explosion /Flameproof enclosure is rated NEMA 4x (IP66) and measures 11 in. x 5-7/16" x 5-5/8". The radio receiver rated for C1D2 can then be DIN-rail mounted in a control cabinet outside the Hazardous area.

## RAD-ISM-900-UD-SET-Ex

Engineering Specifications: RAD-ISM-900-UD-SET-Ex (p/n 56 04 84 9)

### Applications

- Petroleum refining
- Chemical plants
- Agri-Chemical plants
- Pulp and Paper mills
- Coal processing
- Wastewater



Technical Specifications	
RAD-ISM-900-UD-...	
Transmit power	1 watt
Frequency	902 to 928 MHz
Power source	12 V to 30 Vdc (regulated)
Power consumption	8.4 peak, 1.8 watt average (350 mA @ 24 Vdc peak, 75 mA @ 24 Vdc average)
Inputs	1 x 4-20 mA analog (250 Ω input impedance) 2 x 5 to 30 Vac/dc digital (for 120 Vac discrete inputs use relays to convert to specified voltage levels. Consult factory for relay options.)

RAD-ISM-900-UD Receiver	
Frequency	902 to 928 MHz
Power source	12 V to 30 Vdc (regulated)
Power consumption	3 watt (125 mA @ 24 Vdc)
Outputs	1 x 4-20 mA analog (12-bit resolution) 3 x 120 Vac 0.5 A digital (dry contact)
Max. loop impedance	460 to 1,350 Ω for power supply voltages of 12-30 Vdc
	Maximum Loop Impedance = $\frac{\text{Supply Voltage} - 9V}{20 \text{ mA}}$
Repeatability	0.02%
Accuracy	0.2% of full scale

General Specifications	
Temperature range	-40° to 70°C (-40° to 158°F)
Humidity	0-95% non-condensing
Dimensions	102 x 114 x 17.5 (mm) 4 x 4.5 x 0.7 (inch)
Mounting	DIN-rail
Environmental	NEMA 1
Approvals	UL listed (Class I, Division 2 Groups A,B,C,D), CSA approved

Enclosure* Specifications	
Dimensions (HxWxD)	11" x 5.7/16" x 5.5/8"
Weight	7.4 lbs
Conduit Outlets	Two 3/4" NPT
Approvals	UL/cUL C1/D1 Groups B,C,D
Environmental Rating	NEMA 4x
Design Standards	UL standard 1203 CSA standard C22.2 No. 30 ATEX EX II 2GD Exd IIB + H2 NEMA 4x, 7, 9EFG IEC Exd IIB + H2, IEC 60529: IP68

\*Patent pending

The information given herein is based on data believed to be reliable, but Phoenix Contact Inc. makes no warranties, expressed or implied as to its accuracy and assumes no liability arising out of its use by others. This publication is not to be taken as a license to operate under, or a recommendation to infringe, any patent.

#### Headquarters, U.S.

Phoenix Contact Inc.  
P.O. Box 4100  
Harrisburg, PA 17111-0100  
Phone: (717) 944-1300  
Fax: (717) 944-1625  
Email: info@phoenixcon.com  
Web Site: www.phoenixcon.com

#### Technical Support or Information

Phone: 1-800-322-3225

#### Headquarters, Canada

Phoenix Contact Ltd.  
235 Watline Avenue  
Mississauga, Ontario L4Z 1P3  
Phone: (905) 890-2520  
Fax: (905) 890-0190