

**ESTUDIO DE UNA ARQUITECTURA DE CONTROL
Y/O SUPERVISIÓN DE EQUIPOS MÓVILES DE
MANERA INALÁMBRICA**

EDGAR JAIME PAJARO

JULIO PAZ PAEZ

JOSE LUIS VILLA

DIRECTOR

ING. ELECTRÓNICO.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2008

**ESTUDIO DE UNA ARQUITECTURA DE CONTROL
Y/O SUPERVISIÓN DE EQUIPOS MÓVILES DE
MANERA INALÁMBRICA**

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar
al título de ingeniero electrónico**

EDGAR JAIME PAJARO

JULIO PAZ PAEZ

JOSE LUIS VILLA

DIRECTOR

ING. ELECTRÓNICO.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2008

Cartagena de Indias D. T. y C., 4 de Junio de 2007

Señores

COMITÉ CURRICULAR

PROGRAMA DE INGENIRÍAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Asunto: Presentación de propuesta de Monografía

A través de este medio me permito presentar la propuesta de monografía “Estudio de arquitecturas de comunicación inalámbrica de datos para equipos móviles en zonas portuarias”, que será desarrollado por los estudiantes Edgar Jaime Pájaro, y Julio Cesar Paz. Esta propuesta se desarrolla en el marco del Minor en Automatización de Procesos Industriales, y de la cual acepto ser el director de la misma.

Agradeciendo su amable atención,

Cordialmente,

José Luis Villa.

Ingeniero Electrónico.

Cartagena de Indias D. T. y C., 4 de Junio de 2007

Señores

COMITÉ CURRICULAR

PROGRAMA DE INGENIRÍAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Asunto: Presentación de propuesta de Monografía

De la manera más cordial, nos permitimos presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación el trabajo final titulado “Estudio de arquitecturas de comunicación inalámbrica de datos para equipos móviles en zonas portuarias”. Trabajo final presentado para aprobar el Minor en automatización industrial.

Esperando que este proyecto sea de su mayor agrado,

Cordialmente,

Julio Cesar Paz Páez

Código. 0204019

Edgar Jaime Pájaro

Código. 0204027

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer conjuntamente a todos aquellos que hicieron posible la realización de esta monografía: a nuestras madres, a nuestros padres, hermanos, profesores y maestros, en especial a José Luis Villa, por su apoyo, orientación y enseñanza brindada durante la realización de esta, y todas esas personas que ayudaron con sus aportes, familiares, amigos y compañeros, a todos gracias.

Edgar Jaime Pájaro

Julio Cesar Paz Páez

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

CONTENIDO

ESTUDIO DE UNA ARQUITECTURA DE CONTROL Y/O SUPERVISIÓN DE EQUIPOS MÓVILES DE MANERA INALÁMBRICA.....	i
Lista de Figuras	4
<i>Lista de tablas</i>	6
INTRODUCCIÓN	8
1 ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS EN AMBIENTES INDUSTRIALES	12
1.1 LA PERSPECTIVA HISTÓRICA DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS EN LA INDUSTRIA.	13
1.2 TECNOLOGÍA WiFi	15
1.2.1 <i>Características de WiFi</i>	15
1.2.2 <i>Ventajas</i>	18
1.2.3 <i>Desventajas</i>	18
1.3 TECNOLOGIA BLUETOOTH.....	19
1.3.1 <i>Características de BLUETOOTH</i>	19
1.3.2 <i>Ventajas</i>	23
1.3.3 <i>Desventajas</i>	23
1.4 TECNOLOGIA ZIGBEE.....	24
1.4.1 <i>Características</i>	24
1.4.2 <i>Aplicaciones industriales de ZIGBEE</i>	28
1.4.3 <i>Ventajas</i>	29
1.4.4 <i>Desventajas</i>	29
1.5 TECNOLOGIA PRF	30
1.5.1 <i>Ventajas</i>	31
1.5.2 <i>Desventajas</i>	32
1.6 TECNOLOGIA GPRS (GSM)	32
1.6.1 <i>Funcionalidad y características</i>	34

1.6.2	<i>Ventajas</i>	36
1.6.3	<i>Limitaciones y desventajas</i>	36
1.7	COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.....	37
2	ESCOGENCIA DE LA TECNOLOGÍA DE RED INALÁMBRICA.....	38
2.1	ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA ESCOGER UNA TECNOLOGÍA DE SUPERVISIÓN INALÁMBRICA APROPIADA.....	38
2.2	ANÁLISIS PREVIO DEL ENTORNO	41
2.3	TECNOLOGÍA APROPIADA.....	42
2.4	CONCLUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA GSM.....	44
3	ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN BASADO EN LA TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN GPRS (GSM)	45
3.1	CONDICIONES GENERALES DEL SISTEMA SE SUPERVISIÓN.....	45
3.2	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN INALÁMBRICO (GSM) 47	
3.2.1	Configuración del sistema.....	48
3.3	DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA	54
3.3.1	Etapa 1	56
3.3.2	Etapa 2.....	56
3.3.3	Etapa 3.....	56
3.4	CARACTERISITICAS REALES EN UNA TRANSMISIÓN GSM	58
3.4.1	Características reales de una prueba de transmisión/recepción de SMS en la red GSM.....	58
3.4.2	<i>Características de Compatibilidad de equipos</i>	65
3.4.3	<i>Impacto social</i>	66
3.4.4	<i>Impacto ambiental</i>	66
3.4.5	<i>Suministro de Potencia</i>	67
4	CONCLUSIONES.....	68
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

Lista de Figuras

Figura 1. Topología de conexión de red tipo Malla.....	17
Figura 2. (1) Topología de conexión tipo punto - punto, (2) conexión tipo estrella.	17
Figura 3. La figura muestra como Bluetooth es utilizada para conectar dispositivos periféricos en redes locales mientras WLAN es particularmente para integrar muchos dispositivos de alto rendimiento en una red.....	21
Figura 4. Puente automático punto a punto entre dispositivos Bluetooth	21
Figura 5. El adaptador Bluetooth también conecta componentes seriales y compatibles en Ethernet inalámbricamente para la red de Ethernet además de dispositivos compatibles a Bluetooth.....	22
Figura 6. Una aplicación típica involucra a un coordinador central que a menudo actúa como un coleccionista de datos, con nodos remotos estando conectado de regreso a este host central.	25
Figura 7. Ejemplo de una típica red en Malla.	26
Figura 8. Algunas aplicaciones industriales de ZigBee.....	28
Figura 9. Tipo de topologías soportadas por PRF.....	31
Figura 10. Tecnología GSM, relación móvil - industrial (supervisión móvil).	32
Figura 11. Red inalámbrica de conexión GPRS (GSM).....	34
Figura 12. Conexión Inalámbrica de Teleservicio	46
Figura 13. Configuración Básica Equipo Móvil – PC Registrador de datos.	47
Figura 14. Conexión Modem GSM TC65	47
Figura 15. Conexión estándar RS 232 PLC – MODEM.....	48
Figura 16. Conexión PLC – MODEM a tres hilos.....	50
Figura 17. Secuencia de operación PLC – MODEM	57
Figura 18. Transmisión/recepción de SMS con equipos móviles.....	59
Figura 19. Prueba realizada Vs retardo presentado, tabla 6.	61
Figura 20. Prueba realizada Vs Distancia medida, tabla 6.	62
Figura 21. Prueba realizada Vs retardo presentado, tabla 7.	62
Figura 22. Prueba realizada Vs Distancia medida, tabla 7.	63

Figura 23. Tecnologías incompatibles entre equipo de medida y equipo de proceso .. 65

Figura 24. Contaminación Visual- ambiental producida por cables 67

Lista de tablas

Tabla 1. Equipos y variables a sensar	9
Tabla 2. Cuadro comparativo de las tecnologías inalámbricas	37
Tabla 3. Señales de enlace RS-232	49
Tabla 4. Equivalencia entre conectores DB9 y DB25	50
Tabla 5. Ejemplo de configuración del modem	52
Tabla 6. Prueba 1, Transmisión/recepción de SMS con 1 equipo móvil y 1 equipo estático.....	59
Tabla 7. Prueba 2, Transmisión/recepción de SMS con 1 equipo móvil y 1 equipo estático.....	60

RESUMEN

Un estudio de la arquitectura de supervisión y comunicación es presentada con la finalidad de controlar y/o supervisar equipos móviles desde cualquier punto remoto ya sea mediante un teléfono móvil o desde una estación de servicio (teleservicio). Las distintas tecnologías inalámbricas, muestran de manera amplia distintas maneras de realizar la comunicación entre equipos y estaciones remotas, ejemplos de estas tecnologías son **Bluetooth, WiFi, GSM (GPRS), PRF y ZigBee**. A partir de un estudio de ventajas y desventajas de estas tecnologías se enfatiza en la utilización de un módem GSM conectado a un autómata programable o PLC, lo cual indica la utilización de la tecnología GPRS (GSM). Donde se encuentra que las limitaciones para una aplicación de este tipo son mucho menores que con las demás tecnologías.

El problema radica en este caso específicamente en que los equipos móviles de zonas portuarias requieren de un seguimiento del estado operativo de estos, mediante la adquisición de variables, estas variables a su vez deben ser registradas idealmente de manera inmediata lo cual se hace difícil con el actual proceso de adquisición de datos, es por eso que se propone el uso la arquitectura de comunicación inalámbrica de datos basada en GSM, para la automatización del proceso.

Este sistema es capaz de realizar supervisión del equipo móvil mediante el envío y la recepción de mensajes cortos de texto, concretamente mensajes SMS (Short Message Service), los cuales podrán ser redireccionados a distintos números de teléfono o estaciones de servicios (teleservicio), con esto se puede confiar en que la recepción de datos se haga en el menor tiempo posible, acercándose de manera significativa a una recepción en tiempo real. Estos mensajes están asociados a variables de estados las que pueden considerarse como alarmas o datos suministrados desde el PLC, los cuales serán interpretados por un operador o por una estación de servicio (teleservicio).

INTRODUCCIÓN

Los ambientes industriales en su mayoría son totalmente diferentes a los ambientes de oficinas y hogares, donde el manejo de datos esta reducido a información de papeleo. Altas temperaturas, partículas en el aire, múltiples obstáculos y largas distancias separando los equipos y los sistemas, representan un reto especial en la comunicación de sensores, transmisores y otros dispositivos de comunicación de datos [3].

Este trabajo va encaminado a estudiar diferentes tipos de arquitecturas de comunicación inalámbrica, y usar este conocimiento para proponer soluciones adecuadas a problemas de registro de datos de equipos móviles. Muchos procesos industriales incluyen el uso de equipos móviles para mantener continuidad en el desarrollo de sus actividades, algunos de estos equipos móviles además hacen parte del proceso como tal. Este es el caso de equipos móviles en las zonas portuarias, en este trabajo hemos tomado como base IEL puerto cartagenero Muelles El Bosque, donde el uso de los equipos móviles es primordial en la facturación o prestación del servicio de embarque y desembarque. Siendo un equipo móvil de altas prestaciones y fundamental en el proceso, es necesario tener un registro del estado operativo del equipo a través de la obtención de variables propias de su operación.

El uso de tecnologías inalámbricas ya sea para control o supervisión de estos equipos móviles, aportara en un cierto nivel de automatización al proceso industrial realizado en la zona portuaria, donde el objetivo principal del uso de esta tecnología será centralizar la información proveniente de los equipos móviles, para tener una base de datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones para el departamento de mantenimiento, la administración y de operación.

Por ejemplo, es primordial que se tenga un registro de las variables que hacen posible saber cuál es el estado físico, de esta manera se puede realizar tareas como la programación de mantenimientos, tiempo de trabajo, análisis de fallas

de estos equipo móviles, y así poder optimizar el uso de estos. En la tabla 1 se hace una relación entre equipos y variables a monitorear que ayudarían al lector a entender el objeto de estudio de esta monografía.

NO	EQUIPO MÓVIL	VARIABLES SENSADAS (EN CADA EQUIPO)
1	 <p>Reach Stacker (Kalmar)</p>  <p>Grúas Travelift (RTG)</p>  <p>Tractores portuarios</p>	<p>Motor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Horas de trabajo • Alarma Alta Temperatura • Alarma Presión de aceite • RPM <p>Sistema hidráulico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Horas de trabajo • Alarma x Presión

Tabla 1. Equipos y variables a sensar

Los equipos móviles anteriormente mencionados constan de sensores que proporcionan los datos acerca de las variables mostrada en la tabla 1.

Cada uno de estos equipos es manejado por un operador, estos operadores además de realizar la conducción del equipo, registran cada hora en planillas los datos de las variables sensadas, esto para que al final del día se tenga un registro completo del estado físico.

Luego de tener los datos en una planilla, pasan a ser registrados de manera manual a una base de datos, donde son dirigidos a un departamento de mantenimiento para que se tomen las respectivas decisiones acerca de los mantenimientos preventivos, correctivos, análisis de fallas, disponibilidad y facturación.

Debido a que el número de equipos con el que se cuenta es numeroso, el registro de los datos de manera manual resulta muy lento, lo cual no permite que se tenga una base de datos actualizada, que sería lo ideal si se quieren hacer programaciones de mantenimientos y análisis de fallas.

Las tecnologías de control y supervisión inalámbricas, ofrecen al usuario tener la posibilidad de controlar o registrar datos en puntos donde el acceso remoto o donde la ubicación no es constante. Esto gracias al uso de equipos *de transmisión, equipos de control y redes de comunicación (inalámbricas)*.

Se verá que el acople de estos tres elementos genera una serie de posibilidades (tecnologías inalámbricas) las cuales brindan a su vez diferentes soportes para aplicaciones típicas y para la solución a diferentes problemas, está en la responsabilidad del usuario hacer un uso correcto de las tecnologías y además de escoger las más propicia.

El principal objetivo de este trabajo es realizar un estudio acerca del sistema de control y/o supervisión inalámbrico, para equipos móviles o procesos remotos.

A través de este trabajo se ha investigado acerca de las diferentes opciones de comunicación inalámbrica utilizadas en la transmisión de datos para la automatización industrial, lo cual se desarrolla en el capítulo 1. En el capítulo 2 se aborda la descripción de los aspectos físicos de un sistema supervisión y control inalámbrico, y se describen las funciones a realizar por parte del sistema de supervisión y control, en este capítulo se concluye que la tecnología

GPRS (GSM) puede resultar ampliamente apropiada para este tipo de aplicaciones. En el capítulo 3 se estudian las características de funcionamiento de las tecnologías GPRS (GSM), y se realiza un estudio de los tiempos de transmisión en condiciones reales normales en la ciudad de Cartagena, utilizando operadores comerciales.

1 ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS EN AMBIENTES INDUSTRIALES

Este capítulo presenta el estado del arte de las tecnologías de comunicación inalámbrica, a partir de los estudios publicados en revistas y libros especializados en estos temas.

En la actualidad existen entidades encargadas de brindar servicios de wireless industrial, de las cuales los estándares y tecnologías de comunicación inalámbrica más utilizados son:

- **WiFi (IEEE802.11n)**
- **Bluetooth**
- **ZigBee y (IEEE802.15.4)**
- **PRF**
- **GPRS (GSM)**

A continuación se muestra de manera general características fundamentales de las tecnologías anteriormente mencionadas. Haciendo énfasis en la descripción de las más relevantes características con respecto a la automatización industrial.

En la sección 1.1 se plantea una perspectiva histórica y en las secciones 1.2 a 1.6 se detallan cada una de las tecnologías antes mencionadas. Para finalizar en la sección 1.7 se presenta un cuadro comparativo entre dichas tecnologías.

1.1 LA PERSPECTIVA HISTÓRICA DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS EN LA INDUSTRIA.

Wireless ha tenido un pasado débil y un rendimiento poco suficiente en la mayoría de las aplicaciones industriales. Existen severas razones para esto pero al final todo queda reducido a prevenir la anulación de ondas de radio y prevenir la pérdida de datos por comunicación.

Señal de Eco. Típicamente las frecuencias de radio (900MHz y 2,4GHz) usadas en estos días para comunicación inalámbrica de datos tienen una penetración razonable a través de cubículos de oficinas, paredes, maderas y otros materiales encontrados en oficinas y hogares, pero tienden a rebotar en objetos grandes, metales y concreto. Este rebote puede redireccionar la señal de datos y retornarla al transmisor original, causando eco o múltiples caminos [3]. Los sistemas de comunicación inalámbrica fácilmente se confundían con este tipo de interferencia y esto podría cancelar la transmisión de todo el sistema.

Ruido. Las emisiones electromagnéticas causadas por grandes motores, equipos pesados, altas potencias de generación y consumo, y otras maquinarias industriales, pueden crear altos niveles de ruido eléctrico que interfieren con los equipos inalámbricos, en estos ambientes ruidosos, transmisores y nodos remotos no son capaces de alcanzar a escuchar o comunicarse con otros, dando como resultado una frecuente pérdida de datos [3].

Canales compartidos e interferencia. El espacio de radiofrecuencia se abarrotó enormemente. Las frecuencias aprobadas por la **FCC** fueron compartidas por muchos dispositivos, incluyendo las que fueron usadas por WiFi (IEEE 802.11) y ZigBee (IEEE 802.15.4). El resultado frecuente fue la confusión de datos en receptores y nodos, y el envío de información en el mismo canal al mismo tiempo que otros dispositivos en el área, lo que produce un tipo particular de interferencia.

Protocolos industriales no soportados. La mayoría de los dispositivos inalámbricos fueron diseñados para el uso en hogares y en interiores de

oficinas. Por esto, muy pocos ingenieros fueron direccionando los protocolos industriales como Modbus o se movieron de Wireless a tecnologías **RS-232, 422 o 485 [3]**. Adicionalmente, la envoltura, el sistema de circuitos, y las conexiones fueron diseñadas para uso ligero y fueron inadecuadas para los ambientes industriales debido a su poca robustez.

Distancia. La verdadera distancia entre sistemas de control y sensores remotos estrecharon el uso temprano de tecnologías inalámbricas en modo real de la red.

Seguridad. La temprana adopción del estándar IEEE 802.11 creó un gran número de asuntos de seguridad y continuos requerimientos de altos niveles de contadores y medidas para certificar la seguridad de los datos y sistemas de negocios. Entonces, mientras la premisa fundamental de Wireless fue dar respuestas claras a retos industriales, la realidad fue que a menos que la deficiente historia de wireless fuera superada, wireless no podía ofrecer soluciones viables.

Con el paso del tiempo, esto ha cambiado, nuevas tecnologías han entrado a ser protagonistas. Existen ahora muchas soluciones de comunicaciones de datos a problemas históricos. Algunas técnicas de transmisión y modulación han sido desarrolladas para contrarrestar los efectos de eco, ruido, canales compartidos, entre ellos FHSS y DSSS.

FHSS¹ (Frequency Hopping Spread Spectrum) – el dato es transmitido en un canal sencillo al tiempo, pero el canal es rápidamente y constantemente cambiado o “salteado”. Este procedimiento requiere un bajo ancho de banda [3], [15].

DSSS¹ (Direct Sequence Spread Spectrum) – los datos son transmitidos simultáneamente sobre todos los canales disponibles, pero también intensifica el ancho de banda.

¹ Compiled with assistance from B&B Electronics, “*Technical Article: Industrial Wireless: unplugged version of the factory network.*” *The industrial wireless book Issue 45:40.*

Además de estas técnicas de transmisión, existen muchos diseños y estándares desarrollados que juegan un papel esencial para establecer fiabilidad, seguridad, velocidad, distancia y eficiencia [3], [15].

1.2 TECNOLOGÍA WiFi

WiFi (Wireless Fidelity) – IEEE 802.11n. WiFi es una alianza que describe la subyacente tecnología WLAN (**Wireless Area Local Networks**) Redes inalámbricas de área local, basada en las especificaciones del estándar **IEEE 802.11** [1]. Este fue desarrollado para servir a equipos móviles de cómputo, tales como laptops, dentro de las redes de área local (**LAN**), pero este se ha incrementado, basándose en más servicios, incluyendo internet y teléfonos con acceso a VOIP. Estos nuevos usos, y el buen crecimiento del número de usuarios de redes **WLAN**, se han combinado para forzar el mejor uso de las redes WiFi. La industria ha llegado a un acuerdo con las tecnologías 802.11n, en el cual un nuevo estándar WLAN promete el incremento de rango de datos y de la fiabilidad de la tecnología.

1.2.1 Características de WiFi

Interferencia. Para evitar los posibles problemas presentados por interferencia WiFi ha optado por utilizar el método de modulación **DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum) [4], estas características son importantes en el momento de medir la compatibilidad con dispositivos de otras tecnologías. Y de considerar condiciones de retardo producidas por obstáculos en la transmisión [12], [14].

Potencia de consumo. Los dispositivos WiFi, por sus características inalámbrica, deben tener un soporte o fuente de energía necesario para su continuidad. En el caso de WiFi en el momento de la transmisión los dispositivos consumen alrededor de 300mA, y tiene pocos puntos a favor para aplicaciones de bajo ciclo útil. Las aplicaciones en la industria constan de ciclos de utilidad, los cuales se extienden dentro de los mantenimientos y mejoras.

Tasa de datos: WiFi quiere decir que se puede hacer uso de cualquier tipo de red 802.11. Ya sea 802.11b, 802.11a, 802.11g etc. [11], [12]. La primera red 802.11b puede subir datos a una tasa de 11Mbps, usando la banda 2.4GHz. Luego vino el uso de 802.11a en la banda de 5GHZ y poco después 802.11g [12], cada uno con una velocidad máxima de 54Mbps y con una tasa de 25Mbps [1]. La siguiente velocidad estándar de WiFi 802.11n, será de un ancho de banda de alrededor de 108Mbps.

Alcance (Rango de factibilidad de WiFi). Cualquier punto de acceso en WiFi tiene un rango finito dentro del cual la conexión inalámbrica puede mantenerse entre el cliente y un punto de acceso. La distancia actual entre equipos estáticos depende del entorno ambiental: los fabricantes típicamente indican ambos rangos tanto dentro como fuera para dar una indicación de que tan fiable es el rendimiento. Típicamente en ambientes internos el rango es de alrededor de 150 - 300 pies (45 -90 metros). Pero puede ser menor dentro de edificios donde se da interferencia debida a ondas de radio. Los grandes rangos son posibles pero el rendimiento se reduce con la distancia. En entornos exteriores los rangos pueden alcanzar los 1000 pies (300m) [1]. Pero vuelve a depender de las condiciones de los contextos ambientales.

Arquitectura (USO Existente de WiFi). Un dispositivo que permita usar WiFi puede conectarse a través de un punto de acceso (Access point). Cuando una región está cubierta por varios Access point se le llama Hotspot. Los Hotspot pueden tener un alcance de un cuarto sencillo a muchas millas de otro Hotspot [1]. WiFi también puede ser usado para crear redes en malla. Ambas arquitecturas son usadas en redes comunitarias. Figura 1.

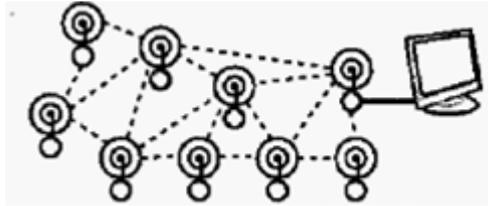


Figura 1. Topología de conexión de red tipo Malla²

La arquitectura o topología de WiFi es del tipo punto a punto o multipunto, los cuales consisten en un enrutador de control y un punto de control, un punto de HOP sencillo a multipunto.

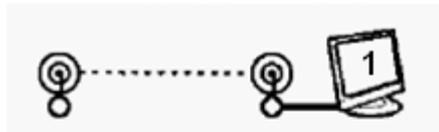


Figura 2. (1) Topología de conexión tipo punto - punto, (2) conexión tipo estrella.³

Los datos fluyen a través de un punto central. Por lo general WiFi utiliza la topología de conexión de red estrella como lo muestra la figura 2, WiFi también permite la conectividad en modo vista a vista (Redes Wireless Ad hoc); las cuales permiten que un dispositivo sea conectado directamente con cualquier otro. El problema de compatibilidad fue mejorado gracias a que la alianza WiFi creó una certificación para mostrar a los consumidores que tipos de compatibilidades eran soportadas por cada producto dentro de cada marca.

² Nick Baker, "Zigbee y Bluetooth: Strengths and Weaknesses w for Industrial applications", IEE Computing & Control Engineering, April/May 2005.

³ Nick Baker, "Zigbee y Bluetooth: Strengths and Weaknesses w for Industrial applications", IEE Computing & Control Engineering, April/May 2005.

Dispositivos estándar usados en WiFi [1]; *Wireless Access Point (WAP):* Un Wireless access point conecta un grupo de dispositivos Wireless a una LAN adyacente. *Adaptador Wireless:* Un adaptador Wireless permite a un dispositivo conectarse a una red Wireless. *Wireless Router:* Un router Inalámbrico integra un Protocolo Activo Inalámbrico (**WAP**), interruptor de Ethernet, y una aplicación interna firmware del Router que provee una dirección IP. *Puente Wireless Ethernet:* Un Puente de Ethernet inalámbrico conecta una red cableada con una red inalámbrica [12]. *Prolongador de alcance (repetidor) [12].* Un prolongador de alcance o repetidor inalámbrico puede extender el alcance de una red Wireless existente.

1.2.2 Ventajas

- Este estándar forma un vínculo fuerte con aplicaciones hogareñas, negocios y redes de oficinas, este es ampliamente escogido por su alta transferencia de datos (máxima tasa de hasta 54Mbps con 12 Mbps promedio) [3].

1.2.3 Desventajas

- Requiere unos gastos excesivos en términos de potencia de consumo, software, recursos de procesamiento, corto rango de alcance (160m Max) y el tamaño físico de los componentes, haciéndolo menos efectivos en situaciones industriales [1] [3].

1.3 TECNOLOGIA BLUETOOTH

Bluetooth es un estándar de radio de corto alcance y redes de área personal, desarrollado por un grupo de interés especial (SIG) por sus siglas en inglés [12], la principal función de Bluetooth es reemplazar los cables en ambientes de oficinas. Diferentes perfiles han sido desarrollados para diferentes aplicaciones y para permitir su compatibilidad.

El estándar Bluetooth usa la banda de radio (ISM) “Industrial Scientific Medicine” 2.4GHz y como medio de acceso utilizan (FHSS). Esto permite que la comunicación con Bluetooth no se vea afectada por interferencia o contaminación electromagnética. El alcance nominal requerido es de 10 metros (potencia de transmisión 0 dBm, 1mw) y un amplificador externo puede ser adicionado para dar un alcance extendido de hasta 100 metros. La tasa de bits es de aproximadamente 1Mbps, de acuerdo a las especificaciones. La modulación se hace a partir de **GFSK** (Gaussian Frequency Shift Keying) [5].

1.3.1 Características de BLUETOOTH

Alcance (Rango de fiabilidad de Bluetooth). El área de cobertura segura de Bluetooth es de 20 pies a 15 metros [1], entre equipos situados en un punto dentro de un área de cobertura. La distancia actual varía dependiendo del contexto ambiental: los fabricantes típicamente sitúan ambos rangos de alcance tanto fuera como dentro (de un entorno) para dar una indicación razonable del rendimiento. Además si se añade un amplificador de señal el alcance se puede extender hasta 100 m. Se debe observar que cuando se opera en los límites del rango de alcance el rendimiento podría caer y la calidad de la conexión se deteriora.

Interferencia. Para evitar la interferencia entre dispositivos Bluetooth las transmisiones se realizan utilizando el método de modulación FHSS. Esta característica hace que la transmisión de datos sea incluso más fiable, y facilita la operación paralela libre de interferencia de uno o más sistemas WLAN 802.11b/g [12], [14].

Potencia de consumo. Estos dispositivos trabajan con una baja potencia eléctrica de consumo que los que operan con el estándar 802.11, con muchos dispositivos transmitiendo a 1 o 10 Mili-Vatios, y está dirigido a una conectividad ad hoc [1].

Tasa de datos (transmisión de paquetes). Las limitaciones de Bluetooth a pequeñas redes con hasta siete dispositivos y la baja de datos netos de 1Mbps son suficientes para muchas aplicaciones industriales. Frecuentemente, solo uno o algunos controladores descentralizados o componentes automáticos tienen que ser inalámbricamente conectados a una red local, lo cual indica que solo unos pocos bytes tienen que ser transmitidos. Si, por ejemplo, 100 bytes tienen que ser intercambiados cíclicamente en ambas direcciones en intervalos de 16 ms, la red requiere una tasa de datos de solo 100Kbps. La velocidad de conexión puede ser tan alta como 721Kbps en un sentido y 57.6Kbps en el otro en una configuración asimétrica, o 432.6Kbps en cualquier dirección en una configuración simétrica [1].

Con el propósito de que óptimamente se usen las limitaciones del ancho de banda en la banda de frecuencia de 2.4Ghz, la rápida y económica transmisión de pequeños paquetes de datos es por tanto más importante que una alta tasa de transmisión de datos.

Arquitectura. Las conexiones de Bluetooth están basadas en Piconets. Una red ad hoc es establecida (piconet) cuando se reconocen dos dispositivos Bluetooth en un rango de alcance [1]. Un piconet incluye un dispositivo maestro y alrededor de 7 dispositivos esclavos [12]. Se adicionan 254 dispositivos en espera para juntarse al piconet. Bluetooth usa la banda de 2.4Ghz en el espectro (FHSS). Con la tecnología Bluetooth se pueden establecer dos tipos de conexiones, tanto punto a multipunto como punto a punto, tal como se muestra en las figuras 3 y 4.

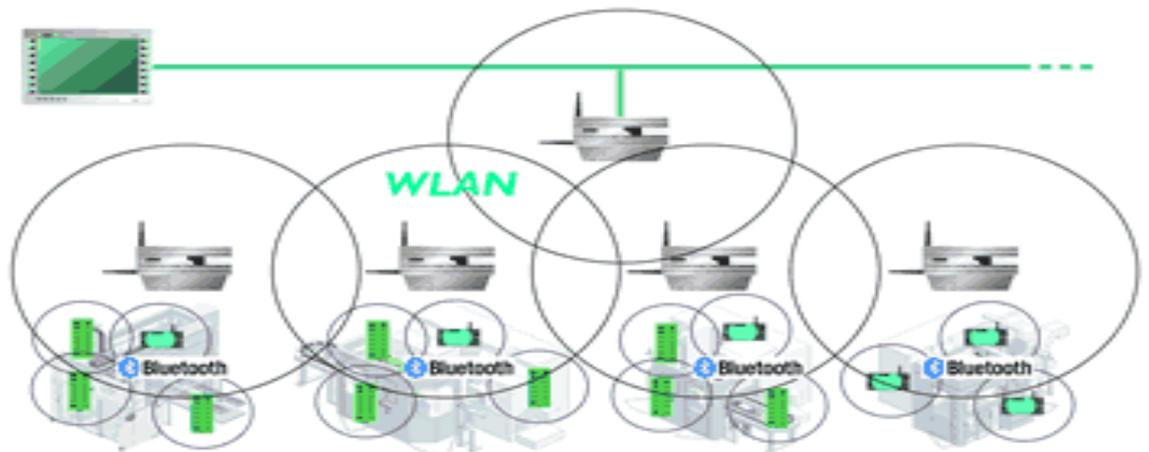


Figura 3. La figura muestra como Bluetooth es utilizada para conectar dispositivos periféricos en redes locales mientras WLAN es particularmente para integrar muchos dispositivos de alto rendimiento en una red⁴.

Más de 25 diferentes perfiles han sido definidos en base a varias clases de aplicaciones- los siguientes perfiles son importantes para el uso de Bluetooth en la industria automática [6].

- HID (Human Interface Device) para la velocidad y transmisión cíclica de procesos y control de señales.
- PAN (Personal Area Networking) para comunicación transparente de Ethernet
- SPP (Serial Port Profile) para transmisión serial de datos.



Figura 4. Puente automático punto a punto entre dispositivos Bluetooth⁵

⁴ Jürgen Weczerek, "Technical Article: Bluetooth in Industrial Automation". *The industrial wireless book, Issue 23:11, Germany*

⁵ Jürgen Weczerek, "Technical Article: Bluetooth in Industrial Automation". *The industrial wireless book, Issue 23:11, Germany*

Con la ayuda de pequeños adaptadores Bluetooth, dispositivos compatibles Ethernet de campo pueden inalámbricamente ser conectados a una red Ethernet por medio de un punto de acceso Bluetooth, esta conexión se establece automáticamente [6].

Dispositivos de comunicación serial. Muchos componentes industriales de automatización contienen interfaces seriales RS232, RS422 o RS485, a través de los cuales son configurados o conectados [6]. Con la ayuda un adaptador serial Bluetooth estos dispositivos pueden ser conectados inalámbricamente a la red Ethernet por medio de un punto de acceso Bluetooth. Ver *figura 5*.

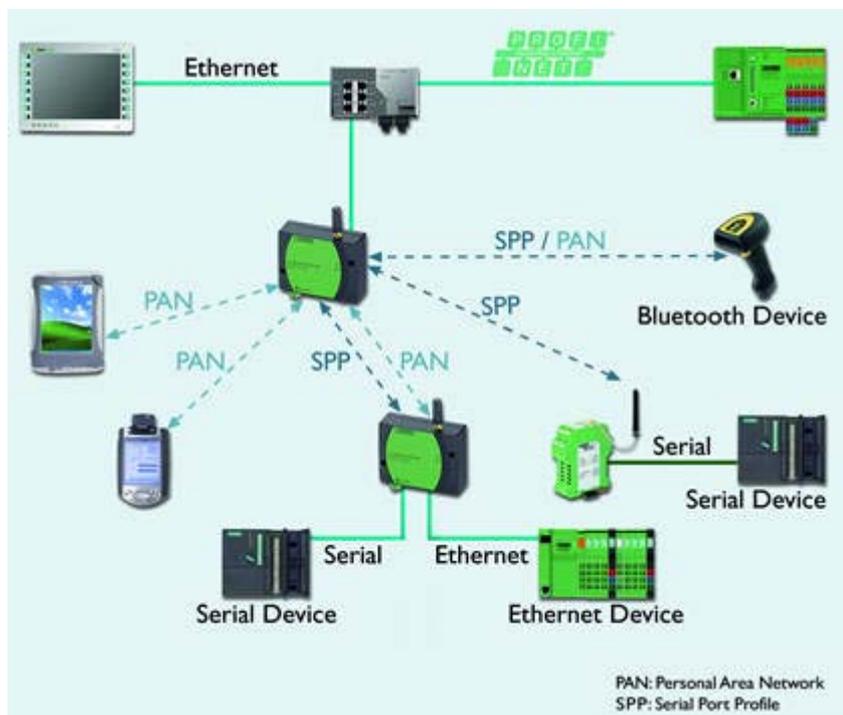


Figura 5. El adaptador Bluetooth también conecta componentes seriales y compatibles en Ethernet inalámbricamente para la red de Ethernet además de dispositivos compatibles a Bluetooth⁶.

⁶ Jürgen Weczerek, "Technical Article: Bluetooth in Industrial Automation". *The industrial wireless book, Issue 23:11, Germany*

El adaptador Bluetooth también presenta un puerto serial configurable RS232, RS422 y RS485 que es usado paralelamente al puerto Ethernet. El punto de acceso Bluetooth puede usarse para conectar inalámbricamente los controladores pequeños con un controlador central.

1.3.2 Ventajas

- Bluetooth ha ganado popularidad por su pequeño tamaño físico y su configuración de red instantánea [1] [3].
- Tres clases de tecnologías permiten a Bluetooth mover datos a cualquier distancia desde 3m hasta 100m [3].
- Módulos Bluetooth de gran potencia estarán en el mercado extendiendo potencialmente la distancia de enlace hasta un kilómetro [3].

1.3.3 Desventajas

- Bluetooth tiene ciclo útil relativamente alto (especialmente en la versión 2 y las más actuales), una mínima tasa de datos (actualmente un máximo posible de 3Mbps) y requiere una línea en vista ajustada ya que este pierde cualidades de penetración [3].

1.4 TECNOLOGIA ZIGBEE

La tecnología ZigBee se basa en el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4. Mientras que tanto el estándar 802.11 y el 802.16 son considerados de alto ancho de banda para aplicaciones de acceso a Internet, 802.15.4 fue desarrollado con una baja tasa de datos, conectividad simple y pensando en el suministro de energía de los dispositivos (batería).

Características del protocolo IEEE 802.15.4. El estándar 802.15.4 especifica que la comunicación puede ocurrir en las frecuencias 868-868.8MHz, 902.-928MHz o 2.4-2.4835GHz, que es la banda Científica Industrial y médica (ISM).

En la banda de 2.4GHz, la comunicación ocurre en uno de dieciséis canales de 5MHz en el rango de 2.405 a 2.480GHZ. La posibilidad de selección de uno de dieciséis canales ayuda a evitar interferencia con alguna otra red de 2.4GHz que pueda estar en la misma área.

IEEE802.15.4 está diseñado específicamente para comunicaciones en configuraciones punto a punto ó punto a multipunto con modo Sleep y seguridad de las partes integrales del estándar. Una típica aplicación involucra un coordinador central que frecuentemente actúa como un recolector de datos, con múltiples nodos remotos conectados en este nodo central. En esencia, 802.15.4 define unas capas PHY y MAC que son ideales para aplicaciones de bajo consumo de energía y una tasa de datos baja [7].

1.4.1 Características

ZigBee es un protocolo que usa las capas PHY/MAC del estándar 802.15.4 y agrega una capa de red adicional a la pila de sistema para dar al sistema enrutamiento y funcionalidad de enlace. Ya que el protocolo ZigBee usa el estándar 802.15.4 para definir las capas PHY y MAC, la frecuencia, ancho de banda y las técnicas de modulación son idénticos [7].

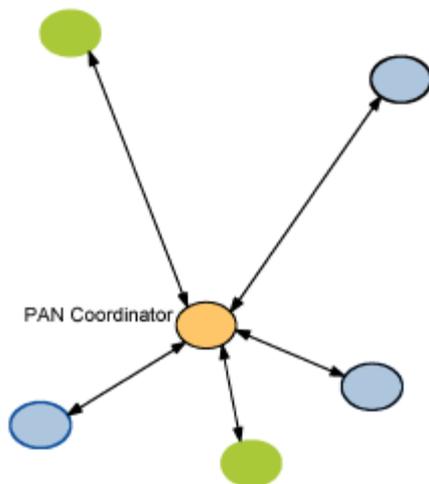


Figura 6. Una aplicación típica involucra a un coordinador central que a menudo actúa como un coleccionista de datos, con nodos remotos estando conectado de regreso a este host central⁷.

El protocolo ZigBee fue desarrollado por la alianza ZigBee (www.zigbee.org) como un esfuerzo para que compañías trabajaran en cooperación para desarrollar un protocolo de red tipo malla que pueda ser usado en una variedad de aplicaciones comerciales e industriales de una tasa de datos baja. Las redes en malla son usadas en aplicaciones donde el rango entre dos puntos puede trascender el rango de las dos radios localizadas en esos puntos, Pero los radios intermedios están situados de manera que podrían reenviar cualquier mensaje hacia y desde los radios deseados.

Arquitectura. La arquitectura utilizada en la tecnología ZigBee es la topología (mesh) malla, este tipo de arquitectura ofrece múltiples vías para envío de datos, auto regeneración, autoconfiguración y multi hop. La figura 7 muestra un ejemplo de una red en malla típica. Si esta quisiera usar esta red para transmitir del punto A al punto B pero la distancia es muy grande entre los puntos, el mensaje podría ser transmitido a través del punto C y unos otros pocos radios que alcancen el destino.

⁷ John Schwartz, "Technical Article: What's in the ZigBee protocol and 802.15.4?", *The industrial wireless book*, issue 44:39.

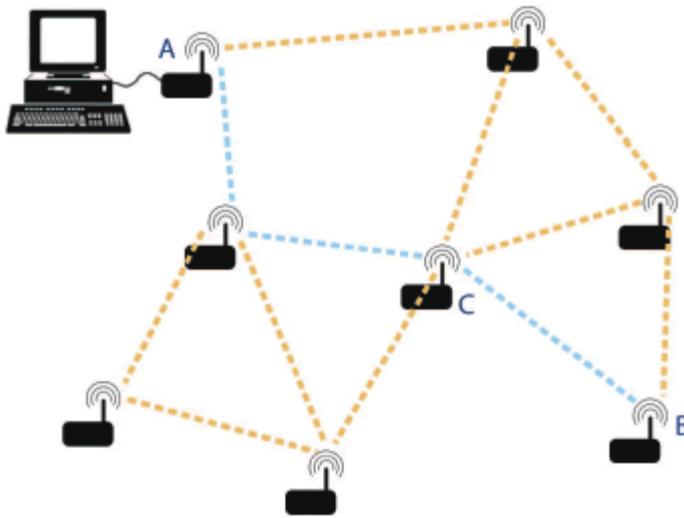


Figura 7. Ejemplo de una típica red en Malla⁸.

La configuración en malla permite que si el radio del punto C fue removido por alguna razón, una nueva ruta se usaría para dirigir los mensajes de A a B [7].

A su vez, sin embargo, ellas no están diseñadas para todas las aplicaciones. Toma tiempo que se hagan caminos de comunicación y que los dispositivos se asocien, y un retardo adicional se forma en el sistema cuando los mensajes deben reenviarse por cada radio a través de la red.

Alcance (Rango de fiabilidad de ZigBee). El protocolo ZigBee es diseñado como algo semejante a un número de radios diferentes que son desplegados en un área dada, con ubicación fija. Cada uno automáticamente se enlazaría hasta formar una red sin intervención de algún usuario. Por lo tanto, la distancia a cubrir influirá en el número de radios utilizados, actualmente el alcance máximo de ZigBee que ofrece un grado de fiabilidad alto es de aproximadamente 100 metros, pero se puede cubrir mas distancia dependiendo del contexto ambiental [2].

Dispositivos ZigBee pueden ser usados como dispositivos finales, routers o nodos. Los Routers pueden también ser usados como dispositivos finales, pero

[1] ⁸ John Schwartz, "Technical Article: What's in the ZigBee protocol and 802.15.4?", *The industrial wireless book*, issue 44:39.

la principal diferencia es que los dispositivos finales están permitidos para “apagarse” o Sleep.

Potencia de consumo. Debido a que ZigBee fue diseñado para aplicaciones de baja potencia, con una corriente de consumo en transmisión de aprox. 30mA y en modo sleep por debajo de los microamperios [4]. Este es adecuado dentro de los sistemas que usan microcontroladores de baja potencia, y esos mercados donde la fiabilidad, vida de la batería y versatilidad son importantes pero el ancho de banda no lo es.

Tasa de datos. La tasa de datos baja de los dispositivos ZigBee de 20 – 250KHz [2] permiten una mejor sensibilidad y rango de alcance haciendo al estándar 802.15.4 y ZigBee una de las tecnologías con mayor alcance que opera en la banda de 2.4Ghz. Cabe anotar que el hecho de usar aproximadamente un ancho de banda de 250KHz limita su uso a aplicaciones donde se requiere un alto ancho de banda como lo son el uso de video, audio etc.

Interferencia. ZigBee al igual que otros protocolos de comunicación realiza el proceso de recepción y transmisión basada en las 7 capas del modelo OSI (Open System Interconnection). Pero este adopta las capas bajas del protocolo IEEE 802.15.4 [8]. A su vez este protocolo evita la interferencia basándose en la modulación DSSS al igual que Bluetooth [14].

1.4.2 Aplicaciones industriales de ZIGBEE

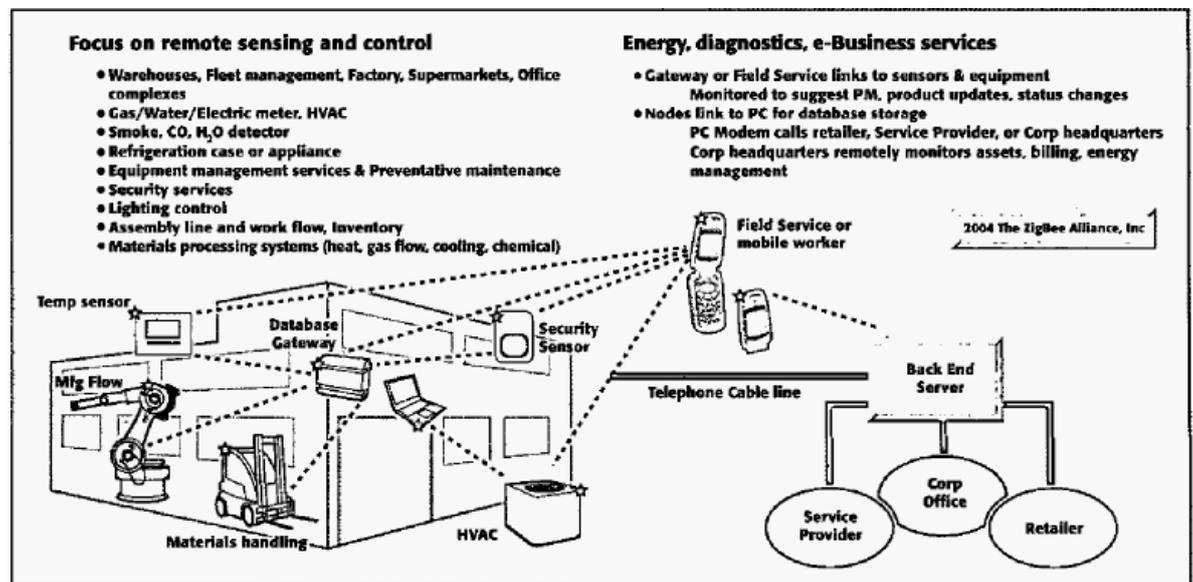


Figura 8. Algunas aplicaciones industriales de ZigBee⁹

La figura 8 muestra algunas aplicaciones industriales de ZigBee como lo son [2]:

- Almacenes, fabricas, supermercados, oficinas.
- Medidores de gases, agua, eléctricos.
- Detectores de humo, CO₂, H₂O.
- Equipos de mantenimiento
- Servicios de seguridad
- Control de luces.
- Línea de ensamblado, inventariar.
- Sistema de procesos de materiales (calor, flujo de gases, químicos).
- Compuertas o servicios de campo enlazados a sensores y equipos monitoreo.
- Nodos de enlaces a PC para almacenar base de datos.

⁹Nick Baker, "Zigbee y Bluetooth: Strengths and Weaknesses w for Industrial applications", IEE Computing 8 Control Engineering, Apnl/May 2005.

La figura 8 muestra una cantidad de posibles aplicaciones para tecnologías ZigBee y 802.15.4. Existe un enfoque al sensado y control, reflejando la misión del estándar ZigBee, y las posibilidades son ilimitadas. Muchas de estas aplicaciones aparentemente requieren la adopción por parte de ZigBee en una gran escala. Antes que esto ocurra existe una enorme oportunidad de reconstruir los sistemas de sensado y control dentro de las construcciones existentes usando ZigBee/802.15.4. Pero si bien es cierto que ZigBee es una tecnología con poca madurez, y aun no ha sido probada o modelada para algunas de las aplicaciones anteriormente mencionadas, desde que 802.15.4 fue publicada, muchas compañías han estado desarrollando redes en mallas basadas en este estándar.

1.4.3 Ventajas

- El consumo de energía es mucho más bajo que en las tecnologías Bluetooth y WiFi debido a su avanzado modo (Sleep). [3] [2].
- Es más efectivo que Bluetooth en cuanto a distancia [3].

1.4.4 Desventajas

- ZigBee tiene una baja tasa de datos – hasta 720Kbps y poca compatibilidad. Adicionalmente, porque es relativamente nuevo, el hardware desarrollado aun no está perfeccionado y definido en su sistema [3].

1.5 TECNOLOGIA PRF

RF Propietario (No es un estándar).

La tecnología PRF no es un estándar de comunicación inalámbrica pero al igual que los protocolos ZigBee, Bluetooth y WiFi, es capaz de establecer una conexión inalámbrica entre sus elementos. Utiliza la tecnología FHSS o DSSS para la transmisión, su rango de alcance depende del entorno ambiental, viene especificado por el fabricante ya sea tanto dentro como fuera de una edificación. Por lo general la tecnología PRF trabaja en las bandas de frecuencias de 2.4GHz (Worldwide), 868MHz Europa y 900MHz Norteamérica. Es un sistema muy confiable y muy preciso pero este ha limitado su uso, siendo incompatible con la mayoría de las tecnologías inalámbricas. Además, que la escalabilidad es un concepto que no se maneja igual que con las nuevas tecnologías.

Tasa de datos. El uso adecuado de los canales de transmisión de RF permite que estos sean menos propensos a interferencias, siendo esto posible el rango de tasa de datos manejados por RF está entre 721 Kbps a 72Mbps [3].

Alcance. Al igual que las demás tecnologías el alcance de PRF está limitado por el contexto industrial donde se utiliza y por la ganancia de la antena, en este caso con una alta ganancia de antena su alcance se puede extender hasta 64 kilómetros [3].

Interferencia. A diferencia de las tecnologías anteriormente mencionadas, la tecnología PRF puede utilizar dos métodos de modulación ya sea FHSS o DSSS, para evitar las posibles interferencias que se puedan presentar en el momento de la transmisión.

Arquitectura. Debido a que la tecnología PRF no es un estándar, tiende a utilizarse como un medio de comunicación, las posibilidades de arquitectura que más utiliza dependen del usuario, a continuación se muestra en la figura 9 alguna de las posibles. Punto a punto, punto a multipunto (estrella), árbol, grupo.

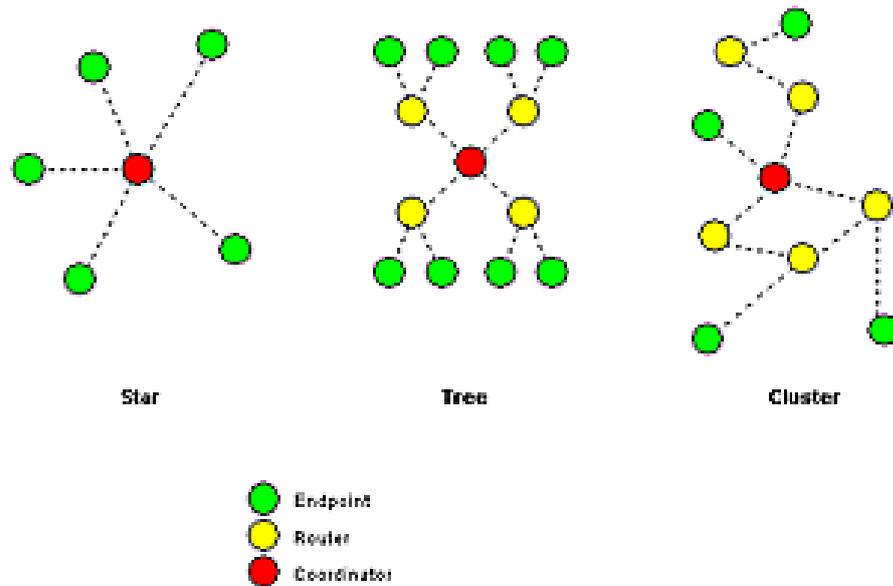


Figura 9. Tipo de topologías soportadas por PRF¹⁰.

1.5.1 Ventajas

- La tecnología PRF proporciona una solución exacta a necesidades específicas conocidas. Esquemas de Modulación, distancias, tasa de datos, envolturas, configuraciones, etc., todas las aplicaciones pueden ser personalizadas.
- Con RF, el asunto de la interferencia virtualmente desaparece porque no existe la gran lucha por los mismos canales seguidos que estandarizan protocolos y formatos de uso.
- PRF tiende a ser más potente entre mayor pueda la configuración ser tolerada por el trabajo. Por esta razón, los costos pueden ser bajos.
- PRF puede operaren ambas frecuencias 900MHz y 2.4GHz, dando un gran control sobre la distancia, penetración, y canales de interferencia.
- Adicionalmente, existe muchas aplicaciones de las que podría conocerse necesidades específicas, lo que ahorraría tiempo para la personalización [3].

¹⁰ Richard Hoptroff, "Technical Article: Zigbee for applications developers". *The industrial wireless book*, Issue 5:12.

1.5.2 Desventajas

- La desventaja más significativa que presenta esta tecnología es que no proporciona compatibilidad con otros estándares inalámbricos, esto podría considerarse como un encerramiento tecnológico [3].

1.6 TECNOLOGIA GPRS (GSM)

Siglas de *General Packet Radio Service*, servicio general de paquetes por radio. Es un estándar de comunicaciones inalámbricas basado en la conmutación de paquetes de datos sobre la misma red GSM de la telefonía celular digital, con modificaciones que implican una mayor velocidad (115 kbps, frente a los 9,6 kbps anteriores) y un mayor ancho de banda.

Viabilidad y disponibilidad de GSM



Figura 10. Tecnología GSM, relación móvil - industrial (supervisión móvil).¹¹

Los módems GSM están disponibles. Aunque su precio es relativamente alto en comparación, estos permiten una comunicación de 9.6Kbps [9]. La cantidad de datos en automatización es relativamente pequeña, por lo que esto no es una limitación real. Un Módem GSM es controlado por comandos AT, entonces su comunicación es similar a los módems tradicionales. SE requiere que las

¹¹ Bernhard Plagemann, "Technical Article: GSM networks". *The industrial wireless book, Issue 8:49*.

funciones para un modem específico puedan ser implementadas en un bloque de funciones de un programa de un PLC y que el servicio este disponible.

La comunicación con SMS (Short Message Service) dentro de las redes GSM es una de las características de la comunicación móvil la cual es usada millones de veces cada hora. Usualmente un “mensaje corto” es escrito carácter por carácter sobre el teclado. Los cuales son transportados como un texto simple el cual puede ser generado e interpretado por muchos sistemas con un modem de control. Por lo tanto un sistema de control podría ser remitente así como destinatario. Siguiendo esta idea es fácil pensar que una alarma de sistema envía un SMS tan pronto un error es encontrado. Tal solución permitiría que los sistemas que no son permanentemente supervisados envíen un mensaje SMS tan pronto una condición específica es identificada y convoque un asistente cuando los asistentes normales no estén disponibles.

Tan pronto que se comience a usar SMS para mensajes de alarma es claro que los mensajes SMS podrían ser usados de otra manera para bien. Por ejemplo, una posibilidad es preguntar al controlador por medio de un SMS. Basado en esto, encima de definir una sintaxis es posible enviar un SMS pidiendo un dato específico y la CPU responde usando también un SMS. Esto permite obtener información de los procesos desde virtualmente cualquier lugar tan lejos como la red GSM esté disponible. Otra posibilidad es modificar directamente un dato dentro del controlador. Otra vez se debe predefinir una sintaxis la cual permitirá que se configure una variable al valor necesario. Ambos métodos, petición y envío de datos de variables de procesos tienen que ser asegurados contra un uso desautorizado. Como los mensajes SMS contienen el número de teléfono del remitente puede ser configurado cualquier número de teléfono para permitir el uso del servicio. Alternativamente si no se quiere restringir el uso a números específicos se puede introducir una clave la cual tiene que estar incluida en la sintaxis del mensaje SMS ya sea en una posición definida. Finalmente se podría agregar un número adicional el cual conseguirá grabar algún comando de configuración en el controlador [9].

Ambas aplicaciones descritas anteriormente crean la comunicación entre un sistema de control y un teléfono móvil. Una nueva característica puede ser agregada si se deja que sistemas de control de comunicaciones alcance otros por medio de SMS. Una CPU podría enviar un SMS que contenga un dato de proceso específico a otra CPU donde esta es extraída y trasladada dentro de una variable local. De esta manera se puede pensar que redes GSM permitirían que todos los controladores se comuniquen cada uno por medio de mensajes SMS. Adicionalmente se puede usar una CPU como estación central donde los datos de todas las estaciones remotas son conectados. Con esta aplicación en mente Ethernet atraería la atención de nuevo, porque esta estación central – equipada con Ethernet- puede ser integrada dentro de una red de supervisión.

1.6.1 Funcionalidad y características

Mientras que la red GSM transmite voz y tiene un sistema de mensajería con capacidad para 160 bytes por mensaje (el GSM-SMS), GPRS permite transmitir voz y datos de forma simultánea. Otras capacidades de GPRS son la transferencia de archivos, la navegación en la Web, el correo electrónico sin límites y funciones de localización geográfica. Figura 11.

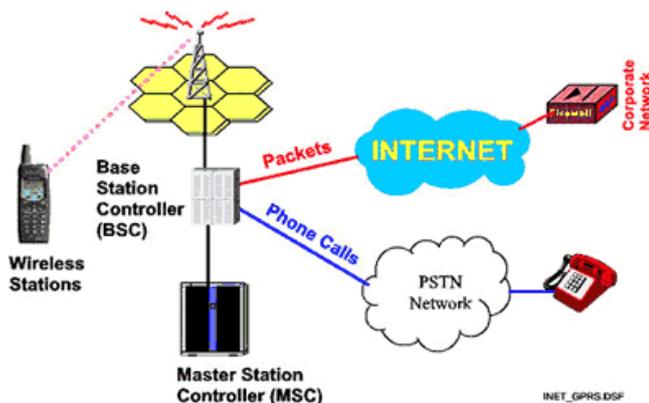


Figura 11. Red inalámbrica de conexión GPRS (GSM)¹²

¹² Walter K. Eichelburg, "Technical Article: Using GPRS to connect small, outlying stations", *The industrial wireless book*, Issue 5:1.

Con GPRS (GSM), los datos pueden ser enviados o recibidos inmediatamente, con tal de que la señal de radio esté disponible. A diferencia de líneas tradicionales de tierra, este sistema no requiere establecer una conexión - que esté siempre conectada. GPRS trabaja sobre la red existente de GSM con una interfaz basada en paquetes.

Tasa de datos. La tasa máxima teórica de transmisión de datos es 172.2Kbps [11], pero esto se asume a sólo un usuario comunicándose sobre las ranuras de tiempo adjudicadas y ninguna protección de error (condición ideal). Las tasas prácticas son usualmente más lentas que redes fijas, y dependen con exceso de rodear estructuras (cobrimiento de señal por repetidoras), fuerza de señal de radio, y del número de usuarios.

Alcance. La tecnología industrial GPRS (GSM) utiliza la transmisión de datos al igual que es utilizada en equipos de telefonía móvil por lo que siendo el mismo principio de uso, la manera de uso y la distancia que puedan alcanzar los datos entre dispositivos inalámbricos GSM es igual a tener telefonía móvil, por lo que el valor de la distancia depende del cubrimiento del servicio ofrecido por la empresa a la cual sea afiliado el modem o dispositivo, por lo general es de aproximadamente 35 km cuando las arquitecturas están disponibles. Hay que hacer énfasis en la movilidad permitida por la tecnología GSM [11].

Arquitectura. La tecnología GPRS (GSM) usa arquitecturas punto a punto, o multipunto a punto, topología estrella, la cual consiste en un número de dispositivos finales conectados a un controlador, el número de dispositivos finales soportados depende de las características ofrecidas por los fabricantes.

Potencia de consumo: la potencia de consumo va de Alto a Bajo, dependiendo de la complejidad del transmisor (del fabricante).

Interferencias. Las limitaciones de interferencia están ligadas al igual que en la telefonía móvil a las edificaciones o ambientes industriales donde estos estén disponibles.

1.6.2 Ventajas

- La tecnología GSM es muy común en todas partes del mundo, su costo es muy reducido y los equipos que soportan la tecnología son numerosos. Pero cabe anotar que en situaciones deterministas ninguna tecnología está 100 por cien desarrollada.

1.6.3 Limitaciones y desventajas

Sin embargo hay que considerar un número de limitaciones.

- GSM no está disponible en todos los países o tal vez no esté disponible en cada punto geográfico en un país. Además algunas edificaciones son diseñadas de tal manera que GSM no puede ser utilizada dentro de la edificación [9].
- GSM es un estándar internacional pero es dirigido por el Mercado consumidor no por el Mercado de la automatización. Aunque existen millones de teléfonos GSM usados en todo el mundo, no existe una garantía que esta tecnología esté aun disponible en 10 años, la comunicación móvil cambia más rápido que la automatización y se tiene que aceptar que la automatización es un hueco para la comunicación móvil [9].
- Usando SMS no existe la garantía que el mensaje sea siempre transportado o leído por el destinatario. La única seguridad en contra de la pérdida de datos de datos es conocer el procedimiento que garantiza que el mensaje ha alcanzado el destinatario final [9], [13].
- SMS no garantiza un sistema de sincronización. Usualmente un mensaje SMS podría ser transportado dentro de unos pocos segundos pero durante horas picos podría tomar 10 minutos [9], [13].
- Entender la red GSM podría no revolucionar la automatización pero este podría ayudar a hacer la automatización más productiva [9].

1.7 COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.

En la siguiente tabla se presenta una comparación de las tecnologías antes estudiadas

	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee	PRF	GPRS (GSM)
Frecuencias	2.4GHz y/ó 5GHz	2.45GHz	915MHz (US) 868MHz (EU) 2.4GHz (global)	900MHz (US) 868MHz (EU) 2.4GHz (global)	824-1880Mhz
Canales	16 @ 2.4GHz 80 @ 8GHz	79	10 @ 915MHz 26 @ 2.4GHz	16 a 79 (ó personalizado)	124 (935-960Mhz), 229 (1805-1880Mhz)
Alcance (dentro)	70m	Class1=1m Class2=10m Class3=100m	20m	1000m	-
Alcance (fuera)	160m	100m	100m	66 Km (antena de alta ganancia)	+ 35 KM
Tasa de Datos (Max)	54Mbps (con 12Mbps típicos)	3Mbps	250Kbps	721Kbps a 72Mbps	+ 128Kbps
Esquemas de transmisión	DSSS	Adaptivo FHSS	DSSS	FHSS ó DSSS	-
Fuentes de potencia	cableado	Batería / cableado	Batería / cableado	Batería / cableado	Batería / cableado
Usos	Reemplazo de cables, transferencia de datos, conexión	Corta distancia, Reemplazo de cables	Monitoreo y control	Reemplazo de cables, Monitoreo y control	Reemplazo de cables, transferencia de datos, conexión

Tabla 2. Cuadro comparativo de las tecnologías inalámbricas.¹³

¹³ Richard Hoptroff, "Technical Article: Zigbee for applications developers". *The industrial wireless book, Issue 5:12*; John Schwartz, "Technical Article: What's in the ZigBee protocol and 802.15.4?". *The industrial wireless book, issue 44:39*. Compiled with assistance from B&B Electronics, "Technical Article: Industrial Wireless: unplugged version of the factory network." *The industrial wireless book Issue 45:40*, Nick Baker, "Zigbee y Bluetooth: Strengths and Weaknesses w for Industrial applications", IEE Computing 8 Control Engineering, Aprn/May 2005.

2 ESCOGENCIA DE LA TECNOLOGÍA DE RED INALÁMBRICA

En este capítulo se establecen las condiciones de análisis previas para escoger la solución tecnológica inalámbrica para el caso portuario que es el énfasis de este trabajo. En la sección 2.1 se observan algunas consideraciones a tener en cuenta para escoger la tecnología inalámbrica más apropiada para hacer la supervisión. En la sección 2.2 se realiza un estudio del entorno a supervisar. En la sección 2.3 se describen algunas de las limitaciones presentes en los sistemas de supervisión en estos tipos de ambientes. Ya en la sección 2.4 se mira una conclusión de la tecnología más apropiada.

2.1 ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA ESCOGER UNA TECNOLOGÍA DE SUPERVISIÓN INALÁMBRICA APROPIADA.

La elección de una tecnología inalámbrica adecuada para un proceso automático ya sea de supervisión y/o control, debe ser estratégica, debe permitir aprovechar los beneficios de la infraestructura escogida, más allá de evitar los costos del cableado.

La decisión correcta ayudará con la seguridad, la optimización del proceso y con la conformidad de la empresa, es por eso que la tecnología inalámbrica requiere de consideraciones antes de llevar a cabo su implementación. A continuación se muestra algunas de las consideraciones a tomar.

Funcionalidad y aplicaciones. Se considera cuáles son las funciones más eficientes en las tecnologías inalámbricas.

- Se estaría dispuesto a escoger múltiples redes inalámbricas para administrar y hacer mantenimiento de procesos o solo escogería una red estratégicamente?
- Consideraría algunas aplicaciones simples de control?
- Se está dispuesto a capacitar trabajadores y permitir la manipulación de la red inalámbrica por parte de estos.

Es importante que primero se alcancen necesidades actuales y futuras, y luego tomar una decisión estratégica en la selección de la red inalámbrica basado en sus necesidades.

Fiabilidad. Puede permanecer el proceso sin transmitir datos por la red inalámbrica? En qué medida afectaría al proceso industrial (dependiente de la tecnología inalámbrica) su continuidad, es preciso mirar como las tecnologías cada vez se vuelven más seguras. Es el proceso enlazable con una tecnología inalámbrica?, y en qué medida lo es? Es necesaria?, poco necesaria?, absolutamente necesaria? [16].

- Se ha desarrollado un plan para saber qué tanto facilitara el proceso industrial específico el uso de tecnologías inalámbricas?.

Seguridad. Es esencial proteger al sistema de supervisión en contra de posibles malas intenciones de dañar la propiedad, industria, oficina, hogar etc. [16].

- Entonces qué seguridad se necesita? Cuanta es suficiente?
- Solo se necesita un sistema de seguridad o varios?

Estas consideraciones son importantes en cuanto al cómo utilizar una red industrial inalámbrica. Lo más probable es que se quiera solo una propuesta de seguridad. Este da la oportunidad de manejar solo un sistema de seguridad y proporciona la oportunidad de obtener la mejor solución posible para un uso actual y futuro del sistema industrial inalámbrico.

Manejo predecible de potencia de consumo. Cuando se utilizan dispositivos inalámbricos tales como celulares, PDA, laptops etc. Se necesita una fuente de energía que garantice su funcionamiento, pues, al igual sucede con los dispositivos en una red de supervisión inalámbrica, si se quiere una constante continua de supervisión, es por eso que es importante tener en cuenta que se debe hacer al momento de utilizar algún tipo de red inalámbrica específica para automatizar un proceso. Como se sabe las distintas redes manejan distintos dispositivos, cada uno con un suministro de potencia de distinto ciclo útil [16].

Estas son solo algunas de las consideraciones que se deberían tener en cuenta en el momento de escoger la red apropiada, las demás características son dadas por los aspectos naturales del sistema de supervisión (escalabilidad, redundancia, comunicaciones, interfaces etc.)

Escogiendo un sistema de supervisión. Antes de escoger un sistema de supervisión es necesario tener muy en cuenta qué pide el problema o el proceso que se automatizara. Las variables a las que este proceso está sujeto; el tipo de datos que se piden, la longitud de los datos, la velocidad de reacción del proceso, precisión de los datos, cantidad de datos, topología de red necesaria para el apropiado funcionamiento, si es necesaria la redundancia, si el proceso debe ser determinista, las distancias que se manejen, hasta que nivel de automatización puede extenderse, relación costo-beneficio, problemas producidos por el entorno, análisis ambiental, impacto social, conocimiento de la tecnología inalámbrica etc. [16].

Es necesario entonces tener una idea general de qué tipo de proceso es el que se quiere automatizar.

2.2 ANÁLISIS PREVIO DEL ENTORNO

Un análisis previo aportara información necesaria para escoger un apropiado sistema de supervisión inalámbrica. En este caso, el entorno industrial es una zona portuaria, los equipos a supervisar son equipos móviles. Por lo que las características del entorno son las siguientes.

Contexto. El contexto de una zona portuaria es por lo general un entorno abierto, donde se mantienen contenedores en lotes esparcidos sobre este. Además se realizan constantes movimientos de equipos de carga y descarga y se mantienen variables las distintas posiciones de las cargas (contenedores)

Equipos. Los equipos que se manejan en una zona portuaria por lo general son maquinarias pesadas (equipos de carga y descarga, tractores, montacargas, etc.), además los equipos a supervisar son equipos móviles, los cuales trabajan con un suministro de energía o batería.

Distancias. Las distancias manejadas en una zona portuaria por lo general son variables, estas dependen del trayecto entre cargue y descargue de objetos contenedores.

Nivel de ruido. El nivel de ruido de este tipo de entorno por lo general no es muy alto ya que no se manejan equipos generadores de ondas electromagnéticas. Pero debido a que se encuentra en un entorno abierto está expuesto a las interferencias producidas por ruido blanco (ruido natural).

2.3 TECNOLOGÍA APROPIADA

Todas las tecnologías inalámbricas en entornos ambientales contienen limitaciones que las hacen menos apropiadas para un sistema de supervisión. Estas limitaciones se hacen mayores cuando se tiene la idea general del proceso y del entorno, debido a esto, la tecnología que presente menos limitaciones es la más cercana a ser la apropiada. Existen entonces las tecnologías; **Bluetooth, WiFi, ZigBee, PRF, GPRS (GSM)**. A continuación se estudian las limitaciones en relación al entorno y al problema planteado, en cuanto a movilidad, interferencia, distancia, escalabilidad, tiempos, tasa de datos y relación costo-beneficio.

Movilidad. Debido a que los datos que se supervisaran estarán dentro de un equipo móvil, existe una limitación al momento de escoger las tecnologías **WiFi, ZigBee y Bluetooth**, ya que estas tecnologías funcionan mejor cuando la supervisión se realiza a puntos estáticos, debido a que estas tecnologías por lo general manejan las características línea en vista de transceptores para un óptimo funcionamiento.

En los entornos industriales actuales se maneja por lo general la supervisión a procesos estáticos, donde los instrumentos de medidas se encuentran localizados en el mismo lugar durante la duración del proceso. Por eso la inclusión de la variable movilidad a los procesos industriales modifica y limita la utilización de las tecnologías inalámbricas.

Interferencia. El entorno es propicio para generar interferencias sobre la recepción de señales de algunos dispositivos en algunas tecnologías, esto se debe a los contenedores metálicos que se encuentran alrededor de la zona. Se puede producir una doble recepción de la señal debida a los rebotes de estas sobre las superficies de los contenedores. Limitando a la tecnología **PRF, Bluetooth y ZigBee**.

Además el desvanecimiento en los canales de transmisión (multi – path) es causado cuando varias copias de una fuente de señal llegan a un receptor a través de caminos y afecta la comunicación de una red inalámbrica en

entornos cerrados. La variación de fase en las copias de la señal puede dar como resultado interferencia que reduce fuerza de la señal, el alcance eficaz, y la tasa de datos transferidos. Un nodo wireless tiene que manejar múltiples vías para señales, pero la interferencia puede ser causada por señales de otro sistema cercano que particularmente no utilizan licencia para su transmisión. En casos extremos se puede presentar que equipos inalámbricos trabajen dentro de construcciones que funcionan como una jaula de Faraday.

Distancia. La distancia manejada entre los dispositivos de medida y de supervisión por lo general es variable, y esta variación ocurre entre distancias pequeñas de 20 o 15 metros y tan grandes como 1000 metros, por lo que algunas tecnologías tendrían limitaciones, debido a que su calidad de señal disminuye con la distancia entre equipos, por lo que las tecnologías **Bluetooth**, **WiFi** y **ZigBee** limitarían sus servicios a este proceso.

El solo hecho de manejar distancias entre equipos dispositivos inalámbricos, influye en la fuerza de la señal, el alcance eficaz y la recepción de datos, si añadimos que en este entorno la distancia es variable, el hecho de utilizar tecnologías inalámbricas se ve limitada a las consideraciones que producirían su uso óptimo.

Escalabilidad. El proceso como tal, es un proceso en crecimiento por lo que es necesario que sea escalable. La tecnología que mayores limitaciones tiene en este sentido es **PRF**, la cual no es un estándar de comunicación

Tiempos. En realidad los tiempos de recepción en esta tipo de proceso y de la manera en cómo se registran los datos, no es determinístico, sin embargo cabe anotar que se debe tener una seguridad en cuanto a la recepción de mensajes, el tiempo de enviar/recibir, pues algunos procesos necesitan certezas de que el datos es enviado y recibido dentro del tiempo estimado. En este caso la tecnología **GPRS (GSM)** estaría limitada en cuanto a tiempos de repuesta.

Tasa de datos. Por la naturaleza de los datos necesarios para la supervisión, y su continuidad (un dato cada hora), el sistema no debe tener una tasa ni muy alta, ni un ancho de banda alto, por lo que sería apropiado limitar inicialmente

las tecnologías **WiFi** y **Bluetooth**. Pero estas consideraciones deben tenerse en cuenta para expansiones futuras, lo que a su vez limitaría a las tecnologías **GPRS (GSM)**.

Relación costo-beneficio. La relación indica qué se necesita para un óptimo funcionamiento y qué ofrecen las tecnologías. Porque es importante resaltar que muchas tecnologías muchas veces ofrecen altos anchos de banda, de los que solo se hará uso una pequeña porción, desperdiciando recursos que a su vez afectan la relación costo- beneficio. Esto limitaría las tecnologías **ZigBee**, **Bluetooth** y **PRF**.

2.4 CONCLUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA GSM

Debido a las características más relevantes del proceso, como lo son la movilidad, distancia, interferencia y escalabilidad. Lo cual causa limitaciones a tecnologías puntuales como lo son WiFi, Bluetooth, ZigBee y PRF. Se opta por tomar la tecnología de supervisión **GPRS (GSM)**. Esta se acomoda de manera menos limitada al problema descrito.

- En cuanto a movilidad la tecnología GSM, al igual que con equipos móviles como celulares, permite recibir y enviar datos en forma de mensajes de texto, haciendo más flexible el uso en el proceso mencionado.
- La distancia que cubre esta tecnología para envío de mensajes SMS, es muy grande en comparación con las otras tecnologías.
- Interferencia es un problema que afecta de manera mínima a la tecnología GSM, pues con una configuración previa se pueden eliminar los posibles puntos de interferencia como lo es para este caso, el Eco.
- La escalabilidad en esta tecnología se hace posible gracias a que al igual que las otras tecnologías es posible que su información sea montada sobre una red Ethernet, para que sea posible compartir información

3 ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN BASADO EN LA TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN GPRS (GSM)

En este capítulo se estudian algunos aspectos técnicos relacionados con la implementación del sistema de supervisión, para la aplicación de equipos móviles, basados en la tecnología de comunicación inalámbrica escogida en el capítulo 2, es decir **GPRS (GSM)**. La sección 3.1 establece la topología general del sistema de supervisión, la sección 3.2 se describe la configuración del sistema de supervisión inalámbrico **GSM**, la sección 3.3 describe como se aplica el proceso y en la sección 3.4 se exponen algunas características reales del sistema de supervisión basado en pruebas y experimentos.

3.1 CONDICIONES GENERALES DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN.

El sistema de supervisión debe ser capaz de tomar datos de equipos móviles a partir de un controlador lógico programable (PLC) ubicados en cada uno de estos. Datos tales como los mostrados en la tabla 1, luego de registrar cada dato, debe enviar a través de un modem de datos a una estación remota a través de la red GSM por medio de SMS. [13].

Cabe anotar que el proceso a automatizar es netamente de supervisión. El control de cada uno de estos equipos se da a partir de un operario.

Para la conexión inalámbrica se cuenta con un modem GSM el cual se conectara por medio de una interface serial a un PLC.

Fallas y variables sensadas serán transmitidas de manera inalámbrica utilizando SMS (Short Message Service) o servicio de mensajes cortos. La duración del envío y recepción de SMS depende del servicio. Por lo general los rangos permitidos para procesos críticos, la transmisión y recepción estarían entre (+2 - +10 segundos). Luego de pruebas hechas e investigaciones los servicios de mensajería ofrecen por lo general un retardo de (+1- +7 segundos) en

condiciones normales. Debido a que estos retardos (de 30 minutos como máximo) ¹⁴ dependen de la congestión del sistema, es preciso pedir a la compañía de servicios, un paquete especial de solo envío y recepción de SMS, o en su defecto el servicio GPRS, además de marcar los días de mayor congestión (Día de la madre, 31 de Diciembre etc.) para evitar posibles desfases de tiempo y registros inapropiados de datos, y plantear una solución previa a un posible problema de registro de datos.

Una vez que se realice la conexión entre un equipo móvil y una estación de teleservicio, se podrá registrar los datos de manera casi inmediata.

La configuración se realizaría como se muestra en la figura 12.

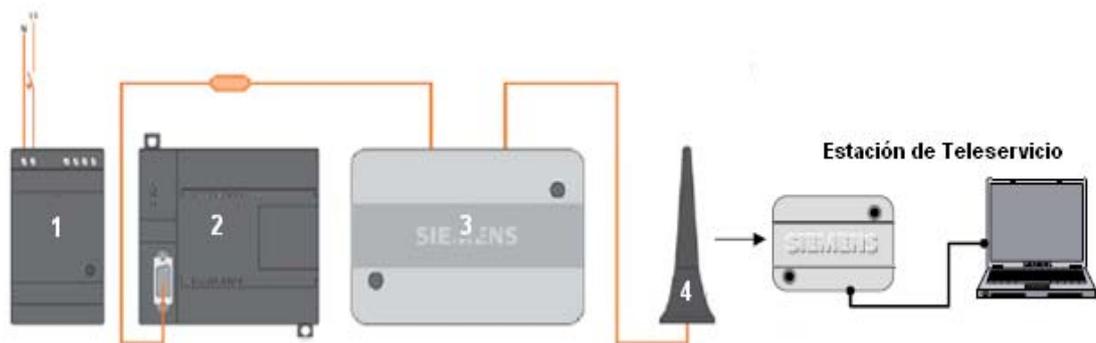


Figura 12. Conexión Inalámbrica de Teleservicio

Donde (1) corresponde al suministro de energía al Autómata programable, (2) al Autómata programable, (3) Módem GSM y (4) Antena. El hardware (1-4) estará conectado al equipo móvil, donde (2) realizara la tarea de sensar las variables y (3 y 4) se encargaran de transmitir los SMS a las estaciones de teleservicio.

¹⁴ Empresa Prestadora de servicios de mensajería MOVISTAR

3.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN INALÁMBRICO (GSM)

La configuración básica para el envío de SMS desde un equipo móvil se realiza de manera física como lo muestra la figura 13.

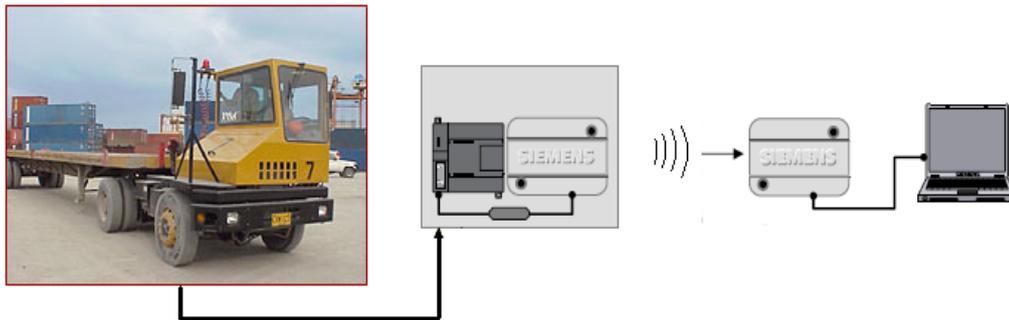


Figura 13. Configuración Básica Equipo Móvil – PC Registrador de datos.

Donde se conectan las entradas del Autómata programable a cada uno de los sensores del equipo móvil, luego el Autómata es conectado al módem GSM, se pasa por un canal de comunicación inalámbrica y se llega a una estación de servicio, la cual consta de un módem GSM conectado de manera serial a un PC. Como se muestra de manera más detallada en la figura 14.



Figura 14. Conexión Modem GSM TC65

Además de esto el sistema debe ser configurado por medio de un software, como es el **STEP 7 Microwin**, para la **PLC SIEMENS-S7200**, de tal manera que se pueda lograr la interface entre PLC y Modem.

3.2.1 Configuración del sistema

3.2.1.1 Descripción del hardware

Los componentes del sistema descrito son el Autómata Programable o PLC, el módem GSM y el equipo móvil, además del PC que servirá para la programación y puesta a punto de todos los elementos.

La comunicación entre PLC y MODEM se hace mediante conexión estándar RS-232 [13], por los puertos disponibles a tal efecto en ambos aparatos, figura 15.

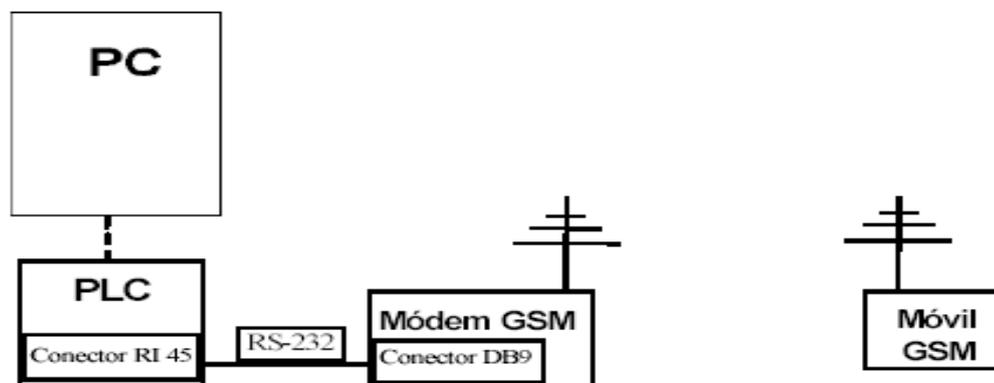


Figura 15. Conexión estándar RS 232 PLC – MODEM¹⁵.

¹⁵ Carmina Boter; Laia Sánchez; J. L. Romeral, "Sistema de Control y Supervisión remota basada en telefonía móvil GSM. Pdf", Pag 45-49.

Número	Señal	Descripción
1	Ground	Tierra de protección
2	TxD	Transmisión de Datos
3	RxD	Recepción de Datos
4	RTS	Petición de envío. Señal de salida controlada por el DTE
5	CTS	Habilitación de envío. Señal de respuesta controlada por el DCE
6	DSR	Confirmación de estado de módem operativo
7	GND	Común de señal
8	DCD	Detección de portadora
15	TC	Reloj de transmisión
17	RC	Reloj de recepción
20	DTR	Confirmación de estado de Terminal (PLC) operativo
22	RI	Indicador de recepción de llamada de línea

Tabla 3. Señales de enlace RS-232¹⁶

El módem incorpora un puerto estándar en configuración DCE (Data Comunicación Equipment) [13], mientras que los autómatas suelen disponer de puertos configurables, los cuales se tienen que parametrizar para obtener un funcionamiento RS-232 en configuración DTE (Data Terminal Equipment). Las señales a utilizar son todas las indicadas en la Tabla 3, o únicamente las tres primeras, dependiendo de si se pretende establecer contención hardware o no.

¹⁶ Carmina Boter; Laia Sánchez; J. L. Romeral, "Sistema de Control y Supervisión remota basada en telefonía móvil GSM. Pdf", Pag 45-49.

En cualquier caso, el enlace entre ambos se realiza pin a pin, como muestra la

Figura 16.

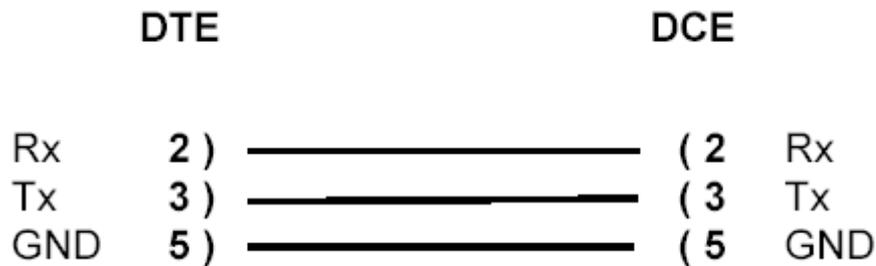


Figura 16. Conexión PLC – MODEM a tres hilos¹⁷

La Tabla 4 muestra la equivalencia entre las señales del conector estándar RS-2323 (25 pines) de la Tabla 3, y los más frecuentes conectores industriales DB9 de sólo 9 pines.

DB9	Señal	DB25
1	DCD	8
2	RxD	3
3	TxD	2
4	DTR	20
5	GND/SG	7
6	DSR	6
7	RTS	4
8	CTS	5
9	RI	22

Tabla 4. Equivalencia entre conectores DB9 y DB25¹⁸

La configuración normal de un enlace PLC-MODEM puede ser la siguiente:

Velocidad: 9600 baudios

Data bits: 8 bits; Stop Bits: 1

¹⁷ Carmina Boter; Laia Sánchez; J. L. Romeral, "Sistema de Control y Supervisión remota basada en telefonía móvil GSM. Pdf", Pag 45-49.

¹⁸ Carmina Boter; Laia Sánchez; J. L. Romeral, "Sistema de Control y Supervisión remota basada en telefonía móvil GSM. Pdf", Pag 45-49.

Paridad: ninguna;

Control de flujo: ninguno

Esta configuración se realiza en las instancias del software para que el PLC pueda leer los datos de envío y de recepción.

El tiempo de respuesta del módem (señal CTS) a la petición de comunicación del PLC (señal RTS), denominado 'tiempo de inversión', es característico de cada MODEM y debe ser tenido en cuenta al establecer el programa de control del puerto en el autómata (PLC). La comunicación entre el usuario y el sistema se realiza vía GSM (Global System for Mobile Communications), intercambiando información según norma ETSI GSM 7.07 (AT Command Set for GSM Mobile Equipment) [13], a una frecuencia de 900MHz.

3.2.1.2 Descripción del software

En cuanto al software de control o comandos del MODEM, la mayoría de ellos se ajustan a la norma Hayes, **comandos del tipo AT+**¹⁹ [18], que tienen el formato general siguiente:

AT+Comando = Dato <CR> <LF>

Para escritura de configuración / envío de mensajes, y para lectura de configuración / estados del MODEM.

AT+Comando? <CR> <LF>

Como se puede observar, el fin de la transmisión queda identificado por los caracteres <CR> y <LF>, excepto en algunos comandos especiales.

Por ejemplo, para programar el MODEM con la configuración anterior, hay que enviarle los comandos indicados en la Tabla 5.

¹⁹ AT Command SET: TC65 Terminal, *TC65_atc_v02000.pdf*.

AT+IPR=9600<CR><LF>	9600 bps
AT+ICF=3,4<CR><LF>	8 bits de datos Sin paridad 1 bit de Stop

Tabla 5. Ejemplo de configuración del modem²⁰

Existe un gran número de comandos AT con diferentes finalidades, para programación del puerto, envío de mensajes SMS, gestión de memoria de mensajes dentro de la SIM card del MODEM, establecimiento de llamadas de voz, etc., aunque no todos son necesarios para la aplicación propuesta.

A continuación se explica algunos de los comandos utilizados para la comunicación GSM [13], además de los mostrados en la Tabla 5 y son los siguientes:

AT+CPIN = “código PIN”, con el que se envía al MODEM el PIN o Personal Identification Number de la tarjeta SIM o Subscriber Identity Module para poder inicializar el Sistema

AT+CSCA = “Número del Centro Servidor de Mensajes”, o CSA (Service Centre Address) que indica qué Servidor se utilizará para enviar el mensaje.

AT+CMGF=n, con el que se define el modo texto o PDU (cadena binaria) para la transmisión/recepción de mensajes. Por ejemplo, si se desea trabajar en ASCII, lo que facilita la manipulación de datos en el PLC, debe hacerse n=1.

AT+CSMP = ‘1,167,0,0’, con el que se define el tipo de mensajes, que con los valores indicados serán mensajes tipo SMS-SUBMIT, 24 horas máximas de retención de mensaje en el Servidor antes de hacerlo llegar a destino, envío del mensaje como texto ASCII y sin conversión a cadena binaria.

²⁰ Carmina Boter; Laia Sánchez; J. L. Romeral, “Sistema de Control y Supervisión remota basada en telefonía móvil GSM. Pdf”, Pag 45-49.

AT+CSCA = Comando utilizado para configurar el centro de mensajerías al cual estará ligado el modem en el momento de envío y recepción de mensajes.

AT+CPMS = se utiliza para verificar la existencia de SMS en la SIM card o la memoria del modem.

AT+CMGL, se encarga de tomar todos los SMS existentes en la SIM card.

AT+CMGD = se encarga de borrar los SMS para habilitar la memoria de tal manera que se puedan enviar y recibir nuevos mensajes.

ATE0, para deshabilitar el eco de caracteres recibidos desde el PLC en el MODEM.

AT+CMGS, comando esencial para el envío de mensajes al MODEM, según la secuencia siguiente:

Enviar al módem:

AT+CMGS=699799315 (número de móvil)

Respuesta 1ª módem: >

Enviar al módem: *Mensaje SMS <ctrl-Z>*

Respuesta 2ª módem: *+CMGS: 188*

OK (mensaje enviado)

Muchos de estos comandos son de tipo escritura/lectura, y enviados con un interrogante '?' responderán con la configuración/estados actuales del MODEM.

Algunos de estos comandos pueden ser parametrizados inicialmente en el MODEM, y no es necesario enviarlos para cada enlace establecido.

El programa necesario para llevar a cabo la supervisión está basado en la tecnología escogida para ser implementada solución del problema propuesto. Para este caso se usa la tecnología Siemens para envío de mensajes de texto

(SMS), el hardware necesario consta de un modem y un autómata programable, antenas, sensores.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA

La aplicación desarrollada cubre dos opciones:

- Supervisión/Control del proceso.
- Generación y envío de alarmas.

Estas opciones se identifican con el proceso, es por eso que la solución se dará a partir de lo que plantee el problema.

En nuestro caso el protocolo de usuario o los pasos a seguir para la Supervisión se establece como sigue [13].

1. Envío de un mensaje codificado al MODEM desde un teléfono móvil o desde otro modem ubicado en un equipo móvil, pidiendo cierta información, ya sea una variable de temperatura, RPM... etc.
2. Recepción en el MODEM, y re-envío al PLC, cuyo puerto permanecía en estado de lectura (es decir, esperando la ejecución de una instrucción RXD o de recepción).
3. Lectura del mensaje en registros del PLC, e identificación del mismo por comparación con una plantilla de órdenes predefinidas por el usuario u operador.
4. Atención de la orden, y generación de la secuencia de respuesta a transmitir.
5. Escritura de la secuencia en el MODEM, incluyendo el número del teléfono móvil al que se llamará.
6. Confirmación de envío desde el móvil, y paso al estado de recepción (lectura).

Si el mensaje recibido es de Control y no de Supervisión, el PLC lo atenderá después de identificar la orden (punto 3) devolviendo (puntos 4 y 5) un mensaje de confirmación de orden ejecutada al usuario, por ejemplo, 'ORDEN OK'

Para el caso de emisión de Alarmas, el protocolo es:

1. Preparación de la secuencia a transmitir, incluyendo o no variables de proceso, tras la aparición de la alarma.
2. Escritura del mensaje en el equipo móvil, y confirmación de recepción por parte de éste.
3. Paso del PLC al estado de recepción, y espera de la confirmación de lectura por parte del usuario.
4. Recepción de la confirmación de usuario en el PLC, y activación de las siguientes opciones (según el tipo de alarma enviada):
 - a. Paso al estado de Supervisión/Control, en espera de nuevas indicaciones por parte del usuario.
 - b. Actuación directa sobre el proceso.

Ambos protocolos se han programado de forma que tras cada escritura en el MODEM es necesario hacer una lectura del mismo, para comprobar que el comando ha sido correctamente atendido (respuesta 'OK'). Esta comprobación asegura la potencia del sistema en el nivel básico de enlace, aunque no se ha introducido ningún protocolo de identificación/corrección de errores: desconexión del móvil llamado, o no recepción de la respuesta de confirmación desde el mismo, órdenes de usuario (mensajes) no identificables, etc., dado que esta comprobación es muy dependiente de la aplicación final desarrollada. Todos los comandos y datos enviados o recibidos por el puerto de enlace PLC-MODEM lo son codificando los caracteres ASCII en serie, tal y como deben aparecer en el mensaje final [13].

Los protocolos anteriores han sido programados en el autómata, mostrándose ahora como ejemplo la secuencia programada para la emisión de una alarma de proceso, que consta de tres etapas transmisión-recepción:

3.3.1 Etapa 1

Introducción del código PIN de la tarjeta SIM que está dentro del módem, mediante el envío del comando [13].

AT+CPIN.

Espera del 'OK' de confirmación de que el módem ha procesado correctamente la orden o comando de identificación de tarjeta.

La confirmación puede hacerse por lectura y comprobación de los caracteres 'OK', o simplemente comprobando que la recepción ha sido correcta.

3.3.2 Etapa 2

Envío del comando AT+CMGS, por ejemplo,

AT+CMGS=699799314, número de llamada del MODEM.

Tras la confirmación de recepción, se espera recibir en el PLC el carácter ">", que significa que el MODEM está esperando el texto del mensaje a retransmitir [13].

3.3.3 Etapa 3

Generación y/o preparación de la secuencia a transmitir, con o sin variables de estado.

Envío del texto de alarma. Esta etapa, la que manda el mensaje, se podría considerar como la segunda fase del comando AT+CMGS [13].

Comprobación de envío correcto. Para ello, se espera recibir desde el MODEM la secuencia + CMGS: nº de mensaje OK

La secuencia general de cada etapa, y por ende de toda la aplicación, está esquemáticamente representada en Figura 17.

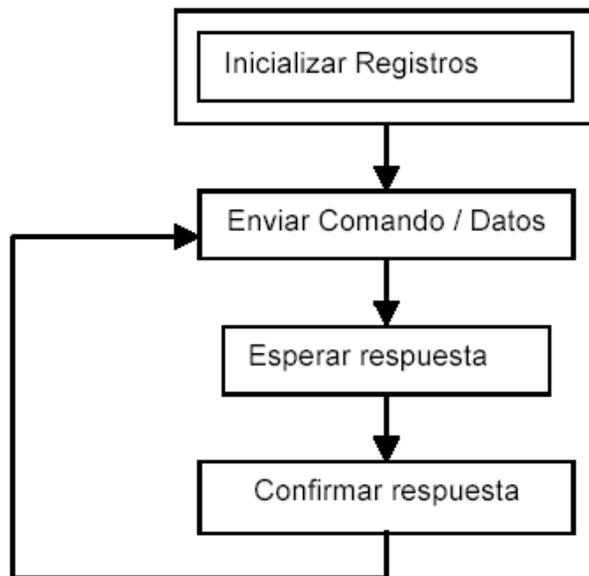


Figura 17. Secuencia de operación PLC – MODEM²¹

La inicialización carga en los registros del PLC las constantes de la aplicación:

- Datos de configuración para enviar al MODEM
- Textos de mensajes constantes predefinidos, para enviar al MODEM, o comparar con mensajes recibidos,
- La parte del mensaje de salida que incorporará variables de estado del proceso.

²¹ Carmina Boter; Laia Sánchez; J. L. Romeral, "Sistema de Control y Supervisión remota basada en telefonía móvil GSM. Pdf", Pag 45-49.

3.4 CARACTERISITICAS REALES EN UNA TRANSMISIÓN GSM

Dentro de la implementación de la tecnología necesaria para una transmisión GSM, existen consideraciones que se deben tomar, acerca de qué tipo de problemas afecten un sistema de supervisión.

A continuación se realizan pruebas de transmisión de mensajería SMS con el objetivo de identificar características reales relevantes en el momento de uso de la red GSM.

3.4.1 Características reales de una prueba de transmisión/recepción de SMS en la red GSM.

El servicio de mensajería de texto (SMS) utilizando la red GSM, por lo general se comporta de manera “instantánea” entre transmisión y recepción, teniendo en cuenta un retardo posible de 5 segundos. Los mensajes parten del remitente, pasan a la red GSM, llegan a un servidor para ser direccionados a un destinatario específico, son reenviados nuevamente a la red GSM, por último llegan al destinatario. Este proceso tiene una duración desde transmisión hasta la recepción, que, en condiciones normales por lo general tiene una duración diferente a 5 segundos, que es el tiempo definido del proceso y asegurado por las compañías prestadoras de servicio.

Teniendo en cuenta lo anterior se opta por realizar una prueba donde se tenga una comunicación GSM de mensajería de texto, teniendo un punto fijo para la recepción y distintos puntos móviles para la transmisión, con una diferencia de 5 minutos entre cada transmisión. Los tiempos de recepción se registran y se comparan con los de transmisión, de esta manera se tiene una idea de los retardos que se producen entre cada proceso de transmisión/recepción. La idea general de la prueba es simular una transmisión/recepción de parte de equipos móviles que utilicen la red GSM y que estén compuestos por módems programados por medio de comandos AT.



Figura 18. Transmisión/recepción de SMS con equipos móviles.

De esta manera se tiene un comportamiento aproximado de un sistema de supervisión que utiliza la red inalámbrica GSM con dispositivos móviles como dispositivos finales. La prueba tiene en cuenta la ubicación de los puntos donde fue transmitido el mensaje SMS, de esta manera se tiene una distancia aproximada entre los dispositivos de transmisión y de recepción. Tal y como se muestra a continuación.

Tabla 6. Prueba 1, Transmisión/recepción de SMS con 1 equipo móvil y 1 equipo estático.

Prueba	Hora de envío	Calidad señal	Ubicación	Distancia Aprox.	Hora de recepción	Retardo (seg.)
1	03:05 p.m.	EXCELENTE	El Carmelo	1.38 Km.	03:05:20 p.m.	20
2	03:10 p.m.	EXCELENTE	El Carmelo	1.4 Km.	03:11:01 p.m.	18
3	03:15 p.m.	EXCELENTE	Kiosco Joe Blas de lezo	1.5 Km.	03:15:14 p.m.	14
4	03:20 p.m.	EXCELENTE	Almacén BC caracoles	1.36 Km.	03:20:09 p.m.	09
5	03:25 p.m.	EXCELENTE	Pollosan Av. Consulado	1.71 Km.	03:25:07 p.m.	07
6	03:30 p.m.	EXCELENTE	Paseo de la Castellana	1.77 Km.	03:30:07 p.m.	07
7	03:35 p.m.	EXCELENTE	Central Telefónica Badel	2.4 Km.	03:35:19 p.m.	19
8	03:40 p.m.	EXCELENTE	Los Alpes	2.5 Km.	03:40:19 p.m.	19
9	03:45 p.m.	EXCELENTE	Bomba El Amparo	2.14 Km.	03:45:23 p.m.	23
10	03:50 p.m.	EXCELENTE	Blas De Lezo	1.6 Km.	03:50:16 p.m.	16
11	04:00 p.m.	EXCELENTE	Buenos Aires	1.1 Km.	04:00:17 p.m.	10
12	04:05 p.m.	EXCELENTE	Alto Bosque	2.1 Km.	04:05:07 p.m.	7

Tabla 7. Prueba 2, Transmisión/recepción de SMS con 1 equipo móvil y 1 equipo estático.

Prueba	Hora de envío	Calidad señal	Ubicación	Distancia Aprox.	Hora de recepción	Retardo (seg)
1	07:05 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.53 Km.	7:05:07 p.m.	07
2	07:10 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.61 Km.	7:10:08 p.m.	08
3	07:15 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.88 Km.	7:15:04 p.m.	04
4	07:20 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	3.05 Km.	7:20:06 p.m.	06
5	07:25 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	3.1 Km.	7:25:06 p.m.	06
6	07:30 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.92 Km.	7:30:05 p.m.	05
7	07:35 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.75 Km.	7:35:04 p.m.	04
8	07:40 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.55 Km.	7:40:06 p.m.	06
9	07:45 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.5 Km.	7:45:05 p.m.	05
10	07:50 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.47 Km.	7:50:06 p.m.	06
11	07:55 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.52 Km	7:55:04 p.m.	04
12	08:00 p.m.	EXCELENTE	Sector Bosque	2.49 Km	8:00:06 p.m.	06

Las tablas 6 y 7 mostradas anteriormente tienen los diferentes datos de señal, ubicación, distancia, tiempo de transmisión y de llegada de los diferentes mensajes enviados a diferentes momentos de la tarde, dos días diferentes. En la primera tabla 6 se muestra la prueba realizada entre dos móviles con servicio de mensajería TIGO el día 21 de mayo 2008, la segunda tabla 7 muestra entre operadores TIGO el día 23 de mayo 2008. Las pruebas realizadas con los operadores TIGO arrojan un resultado promedio con respecto a los retardos producidos entre transmisión/recepción.

Promedio de retardo TIGO 1^{er} día: 14.0833 segundos

Promedio de retardo TIGO 2^{do} día: 5.5833 segundos

Lo que nos indica que la variación de los retardos de las distintas pruebas de servicios de mensajería es de menos de 10 segundos. Siendo esta prueba

válida para la pequeña muestra tomada, y resaltando que los posibles retardos altos en cada una de las pruebas se deban además al error humano de manejo y percepción de aparato móvil y tiempos de recepción respectivamente.

Nota: No se evalúa la calidad de servicio prestado por las empresas prestadoras de servicios, solo se evalúan retardos en la comunicación, producidos por condiciones ambientales y por congestión del medio.

Es válido afirmar que ninguno de los retardos fue mayor a un minuto, lo que indica que grado de efectividad se tendrá utilizando el servicio de mensajería SMS en procesos poco determinista, como lo es el problema planteado inicialmente.

Datos de las pruebas realizadas en la tabla numero 6.

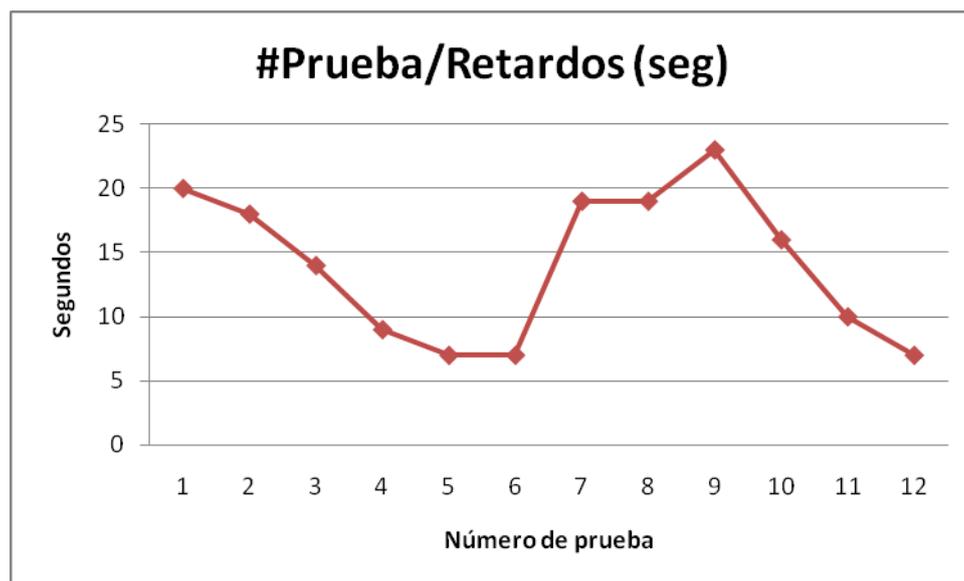


Figura 19. Prueba realizada Vs retardo presentado, tabla 6.

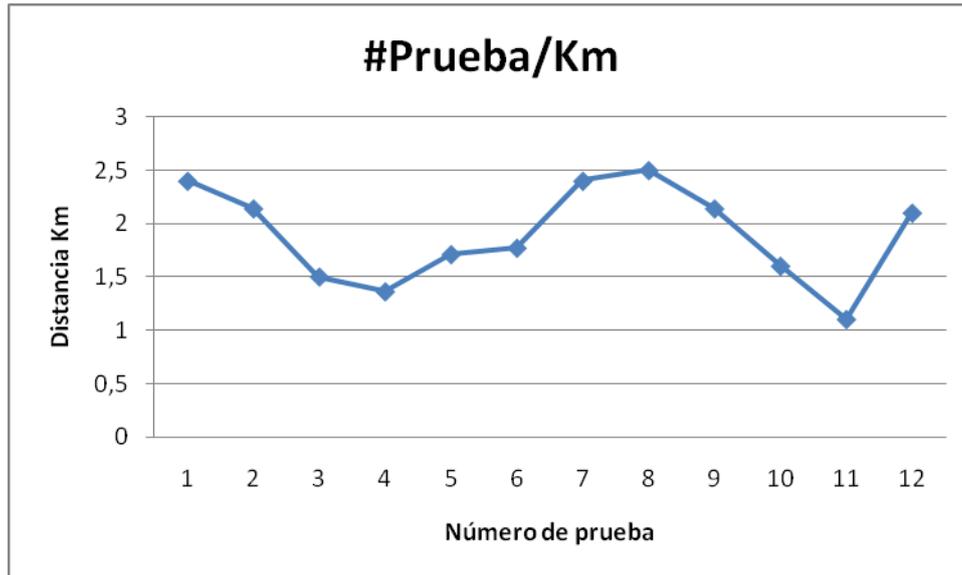


Figura 20. Prueba realizada Vs Distancia medida, tabla 6.

Datos arrojados por la prueba realizada en la tabla 7.

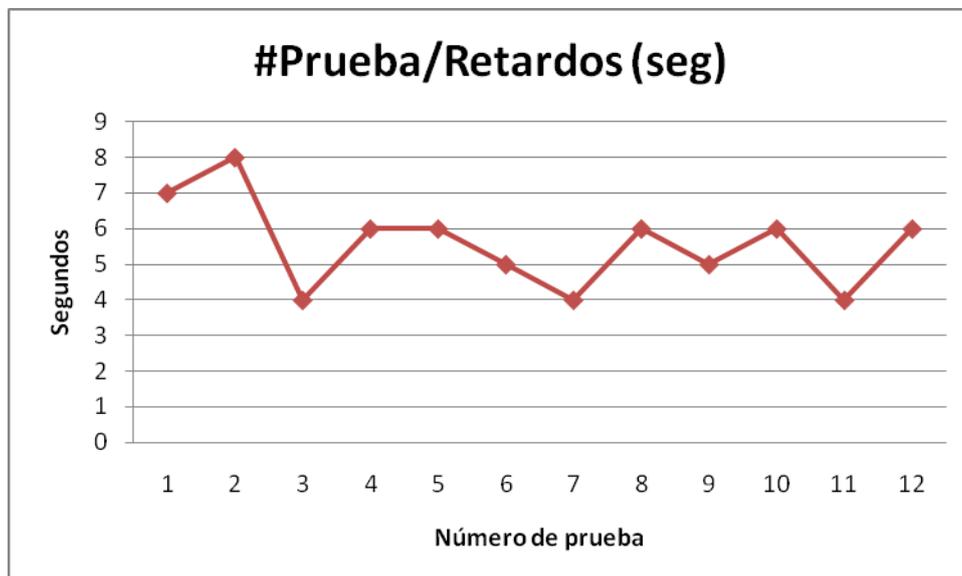


Figura 21. Prueba realizada Vs retardo presentado, tabla 7.

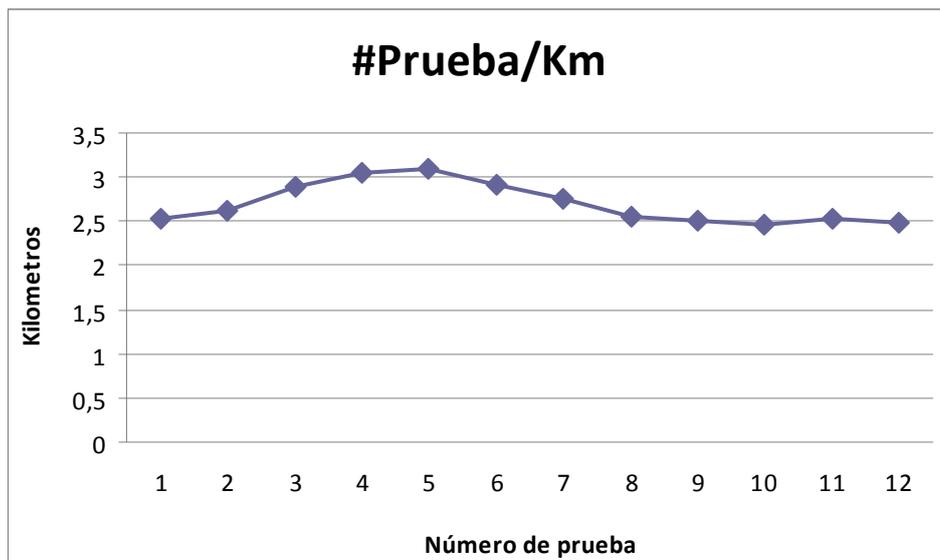


Figura 22. Prueba realizada Vs Distancia medida, tabla 7.

En las graficas de la prueba #1 se puede observar entre las primeras 10 pruebas, una relacion entre la distancia y el retardo, lo que de alguna manera daría la impresión de ser directamente proporcionales, aunque esta suposición es descartada en la prueba 12.

las graficas con respecto a tabla 7, que además se realizaron en un mismo sector (una distancia máxima de 600m entre cada punto de prueba), se observa una variación en cuanto a la percepción de la relación distancia/retardo con respecto a las graficas de la tabla 6, ya que estas no muestran semejanzas en cuanto al comportamiento proporcional mostrado en las primeras pruebas de la tabla 6. por lo que se puede decir que no existe un patrón de comportamiento entre las pruebas mostradas en las tablas.

consideraciones generales que se tendrían en cuenta para poder inferir acerca de comportamiento más verídico de los tiempos de transmisión/recepción de la red GSM con el servicio de mensajería SMS deben ser:

- Cobertura de la señal
- Calidad de la señal
- Congestión
- Condiciones ambientales
- Dispositivos finales

Para mejorar los tiempos de respuesta, se hicieron investigaciones con operadores celulares de la región con el fin de preguntar la posibilidad de que estos ofrezcan canales “dedicados” de mensajería de texto, que no se vean afectados por la cantidad de tráfico existente en horas pico y en otra instancia el no envío de mensajes de textos promocionales y publicitarios que puedan afectar en algún momento el correcto funcionamiento del proceso.

Las empresas que prestan el servicio de telefonía celular y mensaje de textos ofrecen estudios en las zonas donde esté ubicado el proceso a controlar, de tal manera que puedan saber la cantidad de tráfico en determinadas horas, especialmente en las horas críticas. Estas soluciones están basadas en estadísticas, ya que para el servicio de mensajería de texto, estas no ofrecen QoS (Calidad de servicio) para los SMS, sin embargo estos estudios podrían resultar de suma utilidad para analizar y realizar pruebas en estas determinadas horas críticas y determinar la viabilidad de la supervisión dependiendo de qué tan crítico sea el proceso y los tiempos de respuesta.

A su vez, el hecho de la cancelación del tráfico de mensajes publicitarios y de promoción son una gran ayuda por lo molestos y abundantes que pueden ser estos durante ciertas épocas del mes, especialmente en horas pico, lo que

derivaría en menos errores y tráfico durante el envío de mensajes realmente útiles en el proceso.

3.4.2 Características de Compatibilidad de equipos

Un punto importante dentro de las consideraciones es el equipo de transmisión a escoger. Haciendo énfasis en el problema planteado, los equipos móviles (equipos de carga y descarga, transporte, etc.) en las zonas portuarias trabajan con un hardware específico para sensor las diferentes variables a las cuales están sujetas su proceso, este hardware específico además está amarrado a el fabricante y a la fecha de fabricación. Muchos de los equipos actuales no presentan la característica de compatibilidad con equipos viejos, por lo que es necesario adaptar tecnologías para alcanzar el objetivo final. Además el estándar a utilizar debe especificar los detalles de “cómo” implementar los procesos requeridos para la ingeniería del sistema, especificar los métodos y herramientas que se deberían usar para implementar los requerimientos del sistema.



Figura 23. Tecnologías incompatibles entre equipo de medida y equipo de proceso

El estándar debe prescribir el nombre, formato, contenido, estructura o medio de documentación para su uso óptimo.

3.4.3 Impacto social

El sector de automatización industrial, en general, es muy conservador. Las compañías no quieren realizar cambios con grandes inversiones en nuevas instalaciones de equipos sin antes haber visto una demostración práctica (preferiblemente por alguien más). Las personas involucradas en la parte administrativa por lo general no son receptivas a nuevas tecnologías, sin embargo, las opciones más baratas, más rápidas, más seguras y más fiables están siempre allí para innovadores exitosos.

Frecuentemente, la introducción de nuevas tecnologías dentro del entorno laboral puede causar en los empleados operarios cierto escepticismo, desconfianza, inseguridad acerca de la capacidad del sistema nuevo de mejorar los anteriores métodos utilizados. Además los ingenieros deben ser capaces de manejar y ganar habilidades de manipulación de las tecnologías nuevas, deben tener mente abierta a una realidad que se ve venir.

Esto se logra realizando capacitaciones e instruyendo al personal acerca de las nuevas tecnologías (sistema GSM) y de los beneficios que se lograran con la introducción de estas. La educación es la clave.

3.4.4 Impacto ambiental

El uso de tecnologías dentro de un entorno industrial puede causar un enorme impacto ambiental directa o indirectamente. El uso de la tecnología inalámbrica GSM, reduciría el cableado utilizado en un proceso, lo que de alguna manera disminuye la contaminación visual debida a la robustez de un proceso.

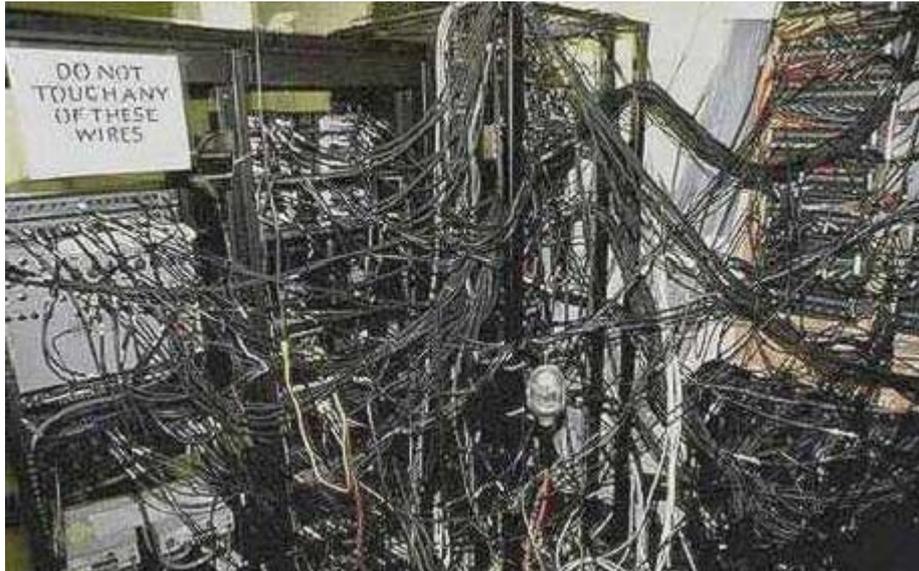


Figura 24. Contaminación Visual- ambiental producida por cables

Existen estrictas regulaciones que han sido introducidas y se espera continuar con esta tendencia. La implementación de numerosos sensores inalámbricos puede ser usada para instancias en los sistemas preventivos para reducir el riesgo de la contaminación medioambiental.

3.4.5 Suministro de Potencia

Los dispositivos utilizados en transmisión GSM, utilizan un suministro de energía para su continuo proceso de uso, tal es el caso de los dispositivos celulares. En un proceso industrial el uso de dispositivos inalámbricos exigen un suministro de potencia constante, por lo que es importante considerar la duración de cada una de las baterías que conforman los dispositivos finales en el proceso a supervisar. Por lo tanto es necesario supervisar que estas se encuentren en buen estado y con la carga suficiente para su continuo funcionamiento, además de tener en cuenta los tiempos de recarga de las baterías para crear estrategias de contención en caso de que una de ellas llegue a fallar, como por ejemplo el empleo de una o más baterías de repuesto o el uso de cargadores de baterías en periodos críticos de estas.

4 CONCLUSIONES

Se ha presentado en este trabajo los principios de operación para establecer una supervisión / control a distancia, de una planta controlada mediante un autómata programable por medio de la telefonía móvil celular.

Se presentaron las diferentes tecnologías inalámbricas disponibles en mercado actual, junto con sus respectivos comportamientos en contextos industriales y las características más relevantes de cada una de estas. Se propuso un caso para automatización industrial y se expusieron los diferentes pros y contras que con él trae la utilización de estas tecnologías inalámbricas. Se opta por la tecnología de menos limitaciones en cuanto al desarrollo de la implementación de la tecnología inalámbrica como solución al problema.

Se ha propuesto un sistema o una arquitectura, la cual resulta sencilla de implementar sobre cualquier autómata o equipo de control de mercado con salida RS-232.

La aplicación descrita puede ser adaptada a cualquier proceso que no exija tiempos de respuesta críticos, sin más que cambiar los protocolos de conversación programados en el PLC.

Se detalla cada uno de los componentes que hacen parte de esta arquitectura de supervisión inalámbrica, como lo son el hardware y software necesarios para el funcionamiento.

Se explica las funciones fundamentales de las rutinas (software) necesarias para crear un enlace de comunicación de equipos remotos, e interfaces entre el autómata y el modem GSM.

Se describe el protocolo de usuario o los pasos básicos a seguir para obtener la supervisión de datos por medio inalámbricos.

En términos generales, el mercado de tecnologías inalámbricas para aplicaciones industriales se halla en una etapa de desarrollo, pero se prevé un importante y significativo incremento de la demanda y los beneficios generados en los próximos años.

El crecimiento debería venir dirigido por un conocimiento más amplio y una mayor aceptación de la tecnología, precios más competitivos y mayor transparencia en el mercado, así como por una mayor penetración de soluciones inalámbricas a través de los diversos sectores industriales.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sanjeev Dhawan, "Analogy of Promising Wireless Technologies on Different Frequencies:Bluetooth, WiFi, and WiMAX", The 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications (AusWireless 2007).
- [2] Nick Baker, "Zigbee y Bluetooth: Strengths and Weaknesses w for Industrial applications", IEE Computing & Control Engineering, Aprn/May 2005.
- [3] Compiled with assistance from B&B Electronics, "*Technical Article: Industrial Wireless: unplugged version of the factory network.*" *The industrial wireless book Issue 45:40,Marzo-2008*
- [4] Konstantinos Koumpis, Lesley Hanna Mats Andersson and Magnus Johansson, "Wireless Industrial Control and Monitoring beyond Cable Replacement", PROFIBUS International Conference, UK, June 2005.
- [5] Urban Bilstrup Per-Arne Wiberg, "Bluetooth in Industrial Environment", September 6-8, Porto, Portugal. 2000
- [6] Jürgen Weczerek, "*Technical Article: Bluetooth in Industrial Automation.*" *The industrial wireless book, Issue 23:11, Germany. Noviembre-2004*
- [7] John Schwartz, "*Technical Article: What's in the ZigBee protocol and 802.15.4?*", *The industrial wireless book, issue 44:39. Febrero-2008*
- [8] Richard Hoptroff, "*Technical Article: Zigbee for applications developers.*" *The industrial wireless book, Issue 5:12. 14-Oct-2005*
- [9] Bernhard Plagemann, "*Technical Article: GSM networks.*" *The industrial wireless book, Issue 8:49. Diciembre-2001.*
- [10] Walter K. Eichelburg, "*Technical Article: Using GPRS to connect small,*" *The industrial wireless book, Issue 5:1. Junio-2005*
- [11] National Instruments- Developer Zone. www.ni.com/developerzone.html
- [12] Andreas Willig, member, IEEE, Kirsten Matheus, member, IEEE, and Adam Wolisz, senior member, IEEE. "Wireless Technology in Industrial Networks", PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 93, NO. 6, JUNE 2005

- [13] Carmina Boter; Laia Sánchez; J. L. Romeral, "Sistema de Control y Supervisión remota basada en telefonía móvil GSM. Pdf", Pag 45-49.
- [14] Vince Stueve, "Articles Proprietary wireless networks may offer a better application fit". *The industrial wireless book, Issue 40:31*. Septiembre-2007
- [15] Brent E McAdams. Articles "Strategic implementation of wireless technologies", *The industrial wireless book, Issue 15:1*. 2006
- [16] Raymond Boggs, Jason Smolek, Paul arabasz, Automation & Control Solutions. "Technical Article: Choosing the right industrial wireless network". *The industrial wireless book, Issue 24:11, 11-jun-2002*
- [17] Presentación Sistemas SCADA, pdf. Minor en automatización, por José Luis Villa
- [18] Siemens
- Application & Tools: wireless signaling and switching via SMS – *Set_DocTech_v2d3_en.pdf*
 - Application & Tools: Description on Step 7 Micro/Win Library for SMS Sending and receiving, *Set_DocLibrary_v1d2_en.pdf*
 - AT Command SET: TC65 Terminal, *TC65_atc_v02000.pdf*.