



DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA INALÁMBRICO PARA AUTOMATIZAR LA LECTURA DE CONSUMOS EN LOS MEDIDORES DE AGUA

MARIO RAFAEL ÁLVAREZ MERCADO
EDINSON BALLESTEROS CORZO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DEL SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007



DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA INALÁMBRICO PARA AUTOMATIZAR LA LECTURA DE CONSUMOS EN LOS MEDIDORES DE AGUA

**MARIO RAFAEL ÁLVAREZ MERCADO
EDINSON BALLESTEROS CORZO**

Este proyecto es presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Electrónico

DIRECTOR DEL PROYECTO
MI Ing. OSCAR MAURICIO REYES TORRES

CODIRECTORA DEL PROYECTO
Ing. LISA SAAVEDRA MORENO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DEL SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007**

*A Dios quien siempre me llevó en sus brazos cuando caí.
A mis padres quienes me apoyaron en todo momento.
A mis hermanos porque fueron una razón para seguir adelante.
A mis tíos y abuelos que estuvieron atentos a mis necesidades.
A mis amigos por sus consejos en momentos difíciles.*

MARIO RAFAEL ÁLVAREZ MERCADO

*A Dios, el padre de los universos, que a diario nos da lecciones y nos ama.
A mis padres, quienes me han apoyado hasta el final.
A Lucero y a mi hija Violeta, quienes me han ayudado a mejorar.
A mis hermanos que me han apoyado en las dificultades.
A mis amigos quienes siempre están presentes en las buenas y en las malas.*

EDINSON BALLESTEROS CORZO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, todo.

A nuestros padres, por su paciencia, entrega y apoyo incondicional.

A nuestros hermanos y familiares, por sus palabras de aliento y estímulo constante.

A nuestros directores, MI Ing. Oscar Mauricio Reyes. e Ing. Lisa Saavedra Moreno quienes dedicaron gran parte de su tiempo, experiencia y conocimientos en el desarrollo de este proyecto.

A CEMOS, que nos brindó la oportunidad de desarrollar este proyecto así como consejos y enseñanzas. En especial al Dr. Oscar Gualdrón y al Dr. Carlos Rodrigo Correa Cely.

Al Ing. Benjamín Pico, por su colaboración y por darnos acceso a una IP publica.

A COMCEL por brindarnos su apoyo técnico. En especial al Ing. Pablo Cesar Bravo Ordóñez, quien de forma desinteresada nos brindó su colaboración en algunos de los inconvenientes que se presentaron en el desarrollo del proyecto.

A TELEFÓNICA MOVISTAR que nos brindó la oportunidad de conocer su empresa más de cerca, otras culturas, así como su apoyo técnico. En especial al Ing. Cristian Mejía, quien estuvo atento a todas nuestras inquietudes.

A Sony Ericsson por brindarnos soporte técnico. En especial al Ing. Andrés Gamboa, quien nos orientó a lo largo del proyecto.

Al Ing. Wilmer Jaraba Ordóñez, quien nos aconsejó sobre el uso de algunos programas.



A nuestros amigos: Ronald Redondo, Gretty Aponte, Diana Fajardo, Andrés Hernández, Daniela Suárez, José Gómez, Vladimir Calderon S. y a todos los otros que por falta de tiempo olvidamos mencionar.



CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE ANEXOS	11
GLOSARIO Y SIGLAS.....	13
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
I REQUISITOS.....	20
1.1 CONCEPCIÓN	20
1.1.1 Planteamiento del problema.....	20
1.1.2 Antecedentes y planteamiento de la solución	21
1.1.3 Justificación	24
1.2 ELABORACIÓN.....	25
1.2.1 Etapa de transmisión.....	26
1.2.2 Etapa inalámbrica	27
1.2.3 Etapa de recepción.....	27
1.3 CONSTRUCCIÓN	28
2 ANÁLISIS (FASE ELABORACIÓN)	35
2.1 SELECCIÓN DE CADA UNA DE LAS VARIABLES	35
2.1.1 Selección de la infraestructura de transmisión.....	35
2.1.2 Selección de la tecnología inalámbrica.....	50
2.1.3 Selección del Modem.....	51
2.1.4 Selección del lenguaje de programación del Modem	54
2.1.5 Selección del hardware receptor.....	54
2.1.6 Selección del lenguaje de programación "Receptor" de datos	54
2.1.7 Selección del lenguaje de programación "Puente"	56
2.1.8 Selección del motor de base de datos.....	57
2.1.9 Selección del servidor web	59
2.1.10 Selección del lenguaje de programación para "visualización"	60
2.2 ESTADO DE RESULTADOS.....	63
3 DISEÑO.....	66
3.1 ELABORACIÓN	66
3.2 CONSTRUCCIÓN	68

4	IMPLEMETACIÓN	69
4.1	ELABORACIÓN	69
4.1.1	Etapa de transmisión	69
4.1.2	Etapa de recepción.....	72
4.2	CONSTRUCCIÓN	95
5	PRUEBAS	98
5.1	ELABORACIÓN	98
5.2	CONSTRUCCIÓN	102
5.2.1	Prueba 1: Datos erróneos en la transmisión.....	102
5.2.2	Prueba 2: Envío de datos desde barrios en Bucaramanga.....	104
5.2.3	Prueba 3: Creación e inserción de información en la base de datos...	115
5.2.4	Prueba 4: Visualización de la página web	117
5.2.5	Prueba 5: Costos de transmisión	127
6	CONCLUSIONES	130
7	OBSERVACIONES.....	132
8	RECOMENDACIONES	133
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos Infraestructura de transmisión	29
Tabla 2. Requisitos Modem.....	30
Tabla 3. Requisitos Lenguaje de programación del Modem	30
Tabla 4. Requisitos Tecnología inalámbrica.....	31
Tabla 5. Requisitos Hardware receptor.....	31
Tabla 6. Requisitos Lenguaje de programación “Receptor” de datos	32
Tabla 7. Requisitos Lenguaje de programación “Puente”	32
Tabla 8. Requisitos Motor de base de datos	33
Tabla 9. Requisitos Lenguaje de programación para visualización en la web	33
Tabla 10. Requisitos Servidor web	34
Tabla 11. Red de concentradores Wi-Fi con conexión inalámbrica a los hogares	37
Tabla 12. Red de concentradores Wi-Fi con conexión cableada a los hogares	39
Tabla 13. Terminal portátil (Handheld) con conexión Bluetooth	41
Tabla 14. Transmisor/Receptor en auto con tecnología Wi-Fi.....	43
Tabla 15. Red híbrida Wi-Fi / GSM.....	45
Tabla 16. Red GSM existente.....	47
Tabla 17. Red GSM/GPRS existente.....	49
Tabla 18. Modems (Sony Ericsson).....	52
Tabla 19. Modems (Siemens).....	53
Tabla 20. Lenguajes de programación para el “receptor” de los datos.....	55
Tabla 21. Bases de datos.....	58
Tabla 22. Servidores web.....	60
Tabla 23. Lenguajes de programación para la “visualización” en la web.....	62
Tabla 24. Estado de resultados.....	64
Tabla 25. Modelo esquemático de la base de datos.....	76
Tabla 26. Implementación (Fase construcción)	95

Tabla 27. Pruebas (recursos y requerimientos)	99
Tabla 28. Prueba 1: Datos erróneos en la transmisión	103
Tabla 29. Evaluación de los resultados de la prueba 1	104
Tabla 30. Prueba 2: envío de datos desde SAN ALONSO	105
Tabla 31. Prueba 2: envío de datos desde el CENTRO.....	106
Tabla 32. Prueba 2: envío de datos desde LA CEIBA	107
Tabla 33. Prueba 2: envío de datos desde PROVENZA.....	108
Tabla 34. Prueba 2: envío de datos desde REAL DE MINAS	109
Tabla 35. Prueba 2: envío de datos desde SOTO MAYOR	110
Tabla 36. Prueba 2: envío de datos desde SAN FRANCISCO.....	111
Tabla 37. Prueba 2: Envío de datos desde LAGOS DEL CACIQUE	112
Tabla 38. Prueba 2: Envío de datos desde el MUTIS.....	113
Tabla 39. Evaluación de los resultados de la prueba 2	114
Tabla 40. Evaluación de los resultados de la prueba 3	116
Tabla 41. Evaluación de los resultados de la prueba 4 (fase 1)	119
Tabla 42. Evaluación de los resultados de la prueba 4 (fase 2)	122
Tabla 43. Evaluación de los resultados de la prueba 4 (fase 3)	125
Tabla 44. Evaluación de los resultados de la prueba 4 (fase 4)	127
Tabla 45. Prueba 5: envío de paquetes de datos	128
Tabla 46. Evaluación de los resultados de la prueba 5.	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujos de trabajo fundamentales.....	18
Figura 2. Esquema general del sistema de telemetría.....	23
Figura 3. Esquema general por etapas del sistema de telemetría.....	26
Figura 4. Red de concentradores Wi-Fi con conexión inalámbrica a los hogares.....	36
Figura 5. Red de concentradores Wi-Fi con conexión cableada a los hogares.....	38
Figura 6. Terminal portátil (Handheld) con conexión Bluetooth.....	40
Figura 7. Transmisor/Receptor en auto con tecnología Wi-Fi.....	42
Figura 8. Red híbrida Wi-Fi / GSM.....	44
Figura 9. Red GSM existente.....	46
Figura 10. Red GSM/GPRS existente.....	48
Figura 11. Tecnologías inalámbricas.....	50
Figura 12. Modems.....	51
Figura 13. Lenguajes de programación para el “receptor” de los datos.....	54
Figura 14. Lenguajes de programación “puente”.....	56
Figura 15. Bases de datos.....	57
Figura 16. Servidores web.....	59
Figura 17. Lenguajes de programación para la “visualización” en la web.....	61
Figura 18. Diseño final del sistema de telemetría.....	67
Figura 19. Implementación etapa de transmisión.....	69
Figura 20. Diagrama de flujo etapa de transmisión.....	71
Figura 21. Implementación etapa de recepción.....	72
Figura 22. Diagrama de flujo subetapa receptor.....	74
Figura 23. Diagrama de flujo subetapa puente.....	75
Figura 24. Diagrama de flujo subetapa base de datos.....	77
Figura 25. Distribución espacial de la página web.....	78
Figura 26. Fases de la subetapa visualización web.....	79

Figura 27. Subetapa visualización web Fase 1 (Mediciones de consumo).....	80
Figura 29. Subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 1: formulario de búsqueda)....	82
Figura 30. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 1).....	83
Figura 31. Subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 2) con respuesta	84
Figura 32. Subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 2) sin respuesta.....	85
Figura 33. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 2).....	86
Figura 34. Subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 1: formulario de borrado)	87
Figura 35. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 1).....	88
Figura 36. Subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 2) con respuesta	89
Figura 37. Subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 2) sin respuesta.....	90
Figura 38. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 2).....	91
Figura 39. Subetapa visualización web Fase 4 (Nivel 1)	92
Figura 40. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 4 (Nivel 1).....	93
Figura 41. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 4 (Nivel 2).....	94
Figura 42. Portátil para transmisión de los datos vía serial al Módem.....	101
Figura 43. Mapa de Bucaramanga	101
Figura 44. Análisis gráfico prueba 2	114
Figura 45. Prueba 3: Creación e inserción de información en la base de datos.....	115
Figura 46. Prueba 4: Visualización de la página web	117
Figura 47. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 1).....	118
Figura 48. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 2-1)	120
Figura 49. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 2-2)	120
Figura 50. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 2-3)	121
Figura 51. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 3-1)	123
Figura 52. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 3-2)	124
Figura 53. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 4-1)	126
Figura 54. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 4-2)	126

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: REDES INALÁMBRICAS IEEE 802.1x	137
1 WI-FI (IEEE 802.11b).....	138
2 BLUETOOTH (802.15.1)	141
3 ZIGBEE (802.15.4).....	143
4 WIMAX (802.16d)	145
5 COMPARACIÓN TECNOLOGÍAS.....	146
ANEXO B: TELEFONÍA CELULAR.....	149
1 INICIOS	150
1.1 AMTS (Advanced Mobile Telephone System)	150
1.2 PTT (Push To Talk)	150
1.3 MTS (Mobile Telephone System)	151
1.4 IMTS (Improved Mobile Telephone System)	151
2 1G (PRIMERA GENERACIÓN)	153
2.1 NMT (Nordic Mobile Telephone).....	153
2.2 AMPS (Advanced Mobile Phone System).....	154
3 2G (SEGUNDA GENERACIÓN)	156
3.1 GSM (global System for Mobile Communications)	156
3.2 D-AMPS (Digital AMPS).....	157
3.3 CDMAOne (IS-95)	158
3.4 PDC (Personal Digital Cellular)	159
4 GENERACIÓN INTERMEDIA 2.5G	160
5 GENERACIÓN INTERMEDIA 2.75G	162
5.1 CDMA 2000 1xRTT	162
5.2 EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)	163
6 3G (TERCERA GENERACIÓN).....	165
6.1 W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)	165
6.1.1 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)	166
6.1.2 FOMA (Freedom of Mobile Multimedia Access)	167
6.2 CDMA2000 1xEV	168
6.3 TD-SCDMA.....	169
7 TECNOLOGÍAS FUTURAS	170
8 TODAS LAS TECNOLOGÍAS.....	172
ANEXO C: REDES CELULARES GSM Y GPRS	175
1 ARQUITECTURA DE LA RED GSM	177
2 ARQUITECTURA DE LA RED GSM/GPRS:	180

3	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	182
	ANEXO D: GUÍA DE COMANDOS AT.....	184
	BIBLIOGRAFÍA (ANEXOS).....	195

GLOSARIO Y SIGLAS

AMB (Acueducto Metropolitano de Bucaramanga)

API (Application Programming Interface, Interfaz de Programación de Aplicaciones): conjunto de especificaciones de comunicación entre componentes de software, que proporcionan funciones de uso general, con el fin de no programar todo desde el principio.

APN (Access Point Name, Nombre del Punto de Acceso): es el nombre de punto de acceso utilizado en tecnología móvil GPRS.

CDMA (Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Código): Tecnología de acceso múltiple digital y de espectro ensanchado.

DOMÓTICA: conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda.

DRIVER: Código residente que utiliza el sistema operativo como interfaz entre las aplicaciones y los dispositivos.

GPRS (General Packet Radio Service, Servicio General de Paquetes de Radio): tecnología que permite la conexión a Internet a través de un teléfono celular.

HTTP (Hypertext Transfer Protocol, Protocolo de Transferencia de Hipertexto): protocolo usado en la transmisión de texto a través de la web.

IP (Internet Protocol, Protocolo de Internet): protocolo no orientado a conexión, usado para la comunicación de datos a través de una red de paquetes conmutados.

ISM (Industrial, Scientific and Medical, Banda Medica, Científica e Industrial): son bandas de frecuencias para uso comercial y sin licencia

JDBC (Java Database Connectivity, Conectividad de la Base de datos Java): es un API de java usado comúnmente para conectar un programa del usuario con una base de datos, sin importar qué software de administración o manejo de base de datos se utilice para controlarlo.

MODEM: dispositivo que actúa como *equipo terminal del circuito de datos*, permitiendo la transmisión de un flujo de datos digitales a través de una señal analógica.

MYSQL: es un sistema de gestión de bases de datos multihilo y multiusuario.

PALM: ordenador de mano con un sistema operativo creado por PalmSource.

PC (Personal Computer, Computador Personal): es un término que se refiere a todos los tipos de computadoras personales.

PDA (Personal Digital Assistant, Asistente Personal Digital): computador de mano originalmente diseñado como agenda electrónica.

PDP (Packet Data Protocol, Protocolo de Paquetes de Datos)

SOCKET: designa un concepto abstracto por el cual dos programas (posiblemente situados en computadoras distintas) pueden intercambiarse cualquier flujo de datos, generalmente de manera fiable y ordenada. se define por una dirección IP, un protocolo y un número de puerto.

SQL (Structured Query Language, Lenguaje de Consulta Estructurado): es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones sobre las mismas.

TCP (Transmission Control Protocol, protocolo de Control de Transmisión): es un protocolo de comunicación orientado a conexión y fiable del nivel de transporte.

TCP/IP: es el protocolo común utilizado por todos los ordenadores conectados a Internet, de manera que éstos puedan comunicarse entre sí.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA INALÁMBRICO PARA AUTOMATIZAR LA LECTURA DE CONSUMOS EN LOS MEDIDORES DE AGUA*

AUTORES: Mario Rafael Álvarez Mercado, Edinson Ballesteros Corzo**

Palabras clave: GSM, GPRS, Base de datos, telemetría, operadores celulares, estación central de información.

DESCRIPCIÓN:

Actualmente en Colombia, la recolección de las lecturas de los medidores de agua, por parte de las empresas prestadoras de este servicio, se hace de forma manual por uno o dos empleados, que van casa por casa anotando estos datos, para luego llevarlos a una estación central de información; este procedimiento puede ser repetitivo, lento y con errores humanos, lo cual ocasiona pérdidas para la empresa prestadora del servicio o para los usuarios. Todo lo anterior conlleva a la necesidad de crear un sistema de telemetría que automatice dicho proceso y para esto se proponen una serie de modelos y variables, a través de los cuales se evoluciona hasta llegar a la solución con el diseño apropiado para el problema planteado.

El sistema de telemetría elegido utiliza tecnología GSM/GPRS (implementado en Colombia por los tres operadores celulares: *Tigo, Movistar o Comcel*), para realizar la transmisión inalámbrica de las mediciones (simuladas) desde cada contador de agua, hasta una estación central de información, donde son almacenadas, procesadas y visualizadas en una base de datos desde cualquier parte del mundo a través de una página Web en Internet. Adicionalmente, para verificar y corroborar los resultados obtenidos en este diseño, se llevó a cabo la construcción y prueba del mismo, como una extensión a los objetivos inicialmente planteados en el proyecto.

Cabe señalar que este trabajo es una parte (etapa de transmisión/recepción de datos) del proyecto de maestría "Diseño y construcción de un sistema de telemetría para automatizar los procesos de lectura en los medidores de agua con transmisión magnética", por lo cual no se realiza la digitalización de los datos provenientes de los medidores análogos existentes y es por esto que se simula.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.
Director: Oscar Mauricio Reyes Torres. Codirector: Ing. Lisa Saavedra Moreno

SUMMARY

TITLE: DESIGN OF A WIRELESS TELEMETRY SYSTEM TO AUTOMATE THE READING OF CONSUMPTIONS IN WATER MEASURERS*

AUTHORS: Mario Rafael Álvarez Mercado, Edinson Ballesteros Corzo**

Key words: GSM, GPRS, data base, telemetry, cellular operators, central station of information.

DESCRIPTION:

At the moment in Colombia, the harvesting of the readings of the water measurers, on the part of the lenders companies of this service, it is done in manual way by one or two employees, who go house by house writing these data, and then they bring them to a central station of information; this procedure can be repetitive, slow and with human errors, which cause lost for the lending company of the service or for the users. All the previous one entails the necessity of creating a telemetry system that it automates this process and for this a series of models and variables are set out, through which is evolved until reaching the solution with the appropriate design for the raised problem.

The chosen telemetry system uses GSM/GPRS technology (implemented in Colombia by all the three cellular operators: Tigo, Movistar and Comcel), in order to make the wireless transmission of the measurements (simulated) from each water meter, toward a central station of information, where they are stored, processed and visualized in a data base from anywhere in the world through a Web page on Internet. Additionally, in order to verify and corroborate the results obtained in this design, it was carried out its construction and test, as an extension of the objectives initially raised in the project.

It is necessary to indicate that this work is a part (data transmission-reception stage) of the master project "Design and construction of a telemetry system to automate the reading processes in the water measurers with magnetic transmission", thus the digitalization of the data from the existing analogous measurers is not made and that is why it is simulated.

* Degree Project.

** Physical-Mechanical Engineering School. Electric, electronic and telecommunications school.

Director: Oscar Mauricio Reyes Torres. C Codirector: Ing. Lisa Saavedra Moreno

INTRODUCCIÓN

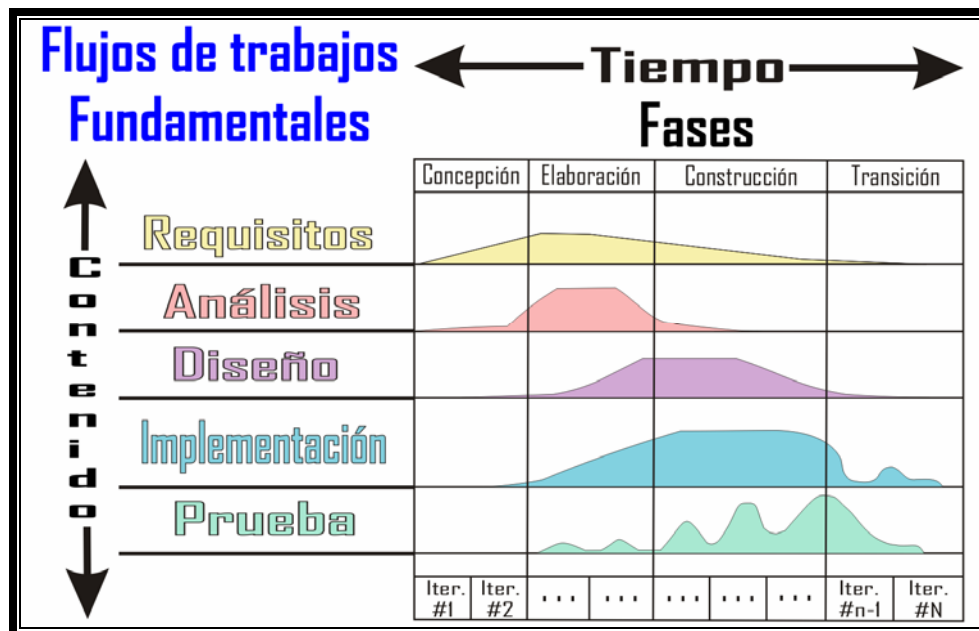
En los últimos años, los sistemas inalámbricos se han desarrollado ampliamente en todo el mundo, y con ello el negocio de las comunicaciones se ha vuelto cada vez más rentable; esto ha hecho que los diseñadores consideren diversas alternativas en la automatización de procesos industriales o empresariales.

La telemetría inalámbrica, que consiste en la recolección y transmisión de forma inalámbrica, de las mediciones de algún proceso, hasta una central de información, en donde los datos son analizados, almacenados, procesados y visualizados, ofrece una alternativa disponible para la automatización de los procesos de medición dentro de los entornos poco accesibles o en los que la toma de datos se vuelva engorrosa y acapare costos económicos para la empresa. Uno de los ejemplos más comunes de telemetría es el sensado y envío de las mediciones de temperatura de una caldera industrial, o también la lectura de la posición de un camión.

Actualmente en Colombia, la recolección de los consumos de agua, se hace manualmente por uno o dos empleados que se desplazan casa por casa anotando la medición; esto genera ciertos inconvenientes y dificultades que demandan la necesidad de automatizar dicho proceso. Dentro de este trabajo se tiene como objetivo primordial, la toma y envío inalámbrico de la medida del consumo de agua a partir de los datos simulados de los contadores, hasta una central de información, donde estos datos son procesados y almacenados, para luego ser visualizados sobre una página web disponible en Internet.

El diseño de este proyecto está basado en un modelo denominado “*proceso unificado de desarrollo de software*” [1], el cual especifica un conjunto de fases, que actúan de una forma iterativa para ir mejorando y evolucionando a lo largo del mismo; partiendo de una serie de prototipos, y solucionando las dificultades que se presenten en el camino, hasta llegar a un modelo sólido, claro, óptimo y ajustable a las necesidades del diseñador. Este modelo se divide en cinco flujos de trabajo fundamentales: **Requisitos, Análisis, Diseño, Implementación y Pruebas**; y cada uno de estos a su vez se subdivide en cuatro fases: *Concepción, Elaboración, Construcción y Transición*. Este proceso es mostrado en la siguiente figura.

Figura 1. Flujos de trabajo fundamentales.



Fuente: Adaptado de [1]

Fase concepción: se identifica el problema y se planifica una visión general de la posible solución del mismo, con su justificación y características principales.

Fase elaboración: se definen cada una de las variables del modelo propuesto como solución.

Fase construcción: se definen los requisitos para cada variable, que garanticen el buen funcionamiento del sistema, creando un modelo eficiente.

Fase de transición: se asegura la disponibilidad y el buen desempeño del modelo para los usuarios finales.

En el **capítulo 1** se plantean los problemas a resolver, así como la existencia a nivel nacional e internacional de sistemas similares al que se pretende implementar, además se realiza un bosquejo general del modelo a desarrollar y las ventajas que este aporta.

En el **capítulo 2** se muestran las posibles alternativas para cada una de las variables del sistema, mencionando sus ventajas y desventajas, para la elección de alguna de estas opciones.

En el *capítulo 3* se presenta la configuración final del sistema y las diferentes configuraciones en la que se puede realizar la transmisión de los datos.

En el *capítulo 4* se determinan los pasos necesarios para la elaboración de los diferentes diagramas de flujos, a ser implementados en el sistema, para cada etapa, subetapa y fases del mismo.

En el *capítulo 5* se realizan pruebas con los equipos ubicados en las diversas etapas con el propósito de observar el funcionamiento, rendimiento y estabilidad de los programas diseñados e implementados en el sistema.

Basados en este esquema se procede al **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA INALÁMBRICO PARA AUTOMATIZAR LA LECTURA DE CONSUMOS EN LOS MEDIDORES DE AGUA.**

1 REQUISITOS

Este flujo de trabajo es el punto de partida del proyecto, y se concentra en las fases de **Concepción, Elaboración y Construcción** tal como se aprecia en la *Figura 1*. Se plantean los problemas a resolver, así como la existencia a nivel nacional e internacional de sistemas similares al que se pretende implementar, además se realiza un bosquejo general del modelo a desarrollar y las ventajas que este aporta.

1.1 CONCEPCIÓN

Este proyecto surge de la necesidad de encontrar una alternativa eficiente, confiable, útil y rentable en la adquisición y transmisión de los datos de consumo de los contadores de agua ubicados en las residencias de los usuarios hasta una estación central de información, que permita la visualización de estos desde Internet.

Es importante tener claridad que este trabajo es una parte (etapa de transmisión/recepción de datos) del proyecto de maestría **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA AUTOMATIZAR LOS PROCESOS DE LECTURA EN LOS MEDIDORES DE AGUA CON TRANSMISIÓN MAGNÉTICA"**.

En este trabajo **NO** se realiza la digitalización de los datos, proceso en el cual se convierten los datos analógicos a información binaria. Este paso no es necesario en contadores digitales, mientras en contadores mecánicos* es paso obligado para poder efectuar la automatización en la facturación del servicio. Así en este proyecto se asume que se toman los datos ya digitalizados.

1.1.1 Planteamiento del problema

Antiguamente, la recolección de los consumos de agua por parte de las empresas prestadoras de este servicio, se realizaba en forma *"manual"* por uno o dos empleados de la empresa. Estos realizaban la lectura casa por casa anotando lo

* La mayoría de contadores de agua en Bucaramanga y Colombia son analógicos o mecánicos.

consumido en hojas de registro y luego estos datos eran llevados a una central donde se almacenaban y procesaban para su facturación.

Posteriormente se introdujo el uso de terminales electrónicas (*handheld*) como mecanismo de almacenamiento en lugar de las hojas de registro, siendo necesario aun de personal que realizara el proceso de leer e introducir en dichos dispositivos lo consumido.

Estas formas de almacenar la información presentan algunos *inconvenientes*:

- ✘ *Lentitud* en el proceso de medición (casa por casa).
- ✘ El incremento en el número de usuarios hace necesario la contratación de más personal que realice el proceso de medición, lo cual representa para la empresa un *gasto mayor en nómina*.
- ✘ *Errores en los procesos de medición* y por lo tanto una facturación equivocada, que puede conllevar a disgustos entre los usuarios afectados y la empresa. Esto porque el proceso de medición lo realiza un ser humano, que puede equivocarse en cualquier momento.
- ✘ Imposibilidad en realizar la lectura en situaciones donde el contador está fuera del alcance del lector, como por ejemplo cuando está dentro de una vivienda con una reja de protección y el usuario no se encuentra en ese momento.

1.1.2 Antecedentes y planteamiento de la solución

Antecedentes

Las telecomunicaciones han mejorado la forma de vivir de los seres humanos, los grandes desarrollos en: Internet, telefonía celular, así como en redes inalámbricas han traído grandes beneficios a la humanidad. La movilidad ha cambiado la forma como se gestionan las empresas, otorgándole más dinamismo al sector financiero.

La continua investigación y desarrollo en todos los campos relacionados con las telecomunicaciones, en busca siempre de aplicaciones comerciales, ha arrojado valiosos resultados, entre estos la reducción de los precios en los dispositivos asociados con esta área, así como la capacidad de aplicar estas tecnologías en varios sectores, uno de estos, la *telemetría*.

Cuando se habla de sistemas de telemetría, se hace referencia a un sistema que captura los datos de la lectura de algún proceso, para luego transmitirlos a una

central, en donde esta información puede almacenarse, procesarse y visualizarse de la mejor forma [2].

Los sistemas de *Lectura Automática de Medidores (Automatic Meter Reading, AMR)* son una rama de la telemetría. Estos son capaces de recolectar información de consumo en forma rápida, eficiente y automatizada, generando facturas “libres de errores”. Por lo cual muchas empresas a nivel mundial estudian las posibilidades de implementar estos equipos, con el propósito de obtener mejoras en la prestación del servicio, y la rentabilidad económica.

Hace varios años, alrededor del mundo se han venido diseñando y desarrollando diversos sistemas AMR, que se acoplan a las necesidades, al entorno y las características de los países en los cuales se implementan. En Colombia aún no se ha hecho uso de estos a nivel residencial, y sólo se cuenta con ellos en zonas industriales en los cuales se hacen necesarios debido a las dificultades que se presentan al realizar la lectura de consumos de los servicios de agua, gas y electricidad.

Denver Water es una empresa norteamericana prestadora del servicio de agua en el estado de **Denver**, esta ha implementado un sistema de telemetría que emplea dispositivos de “transmisión/recepción” en cada vivienda. Debido a esto anualmente se han ahorrado millones de dolares en el proceso de la lectura de consumos, a diferencia de cómo se venía realizando anteriormente, lo cual ha beneficiado grandemente a la empresa y a los usuarios. Actualmente la compañía trabaja en hacer la facturación lo más exacta posible, así como en disminuir las tarifas de sus clientes debido a la gran rentabilidad obtenida ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Esta empresa es sólo un ejemplo de la aplicación de los sistemas AMR para la recolección de los datos de consumo. En Estados Unidos existen otras compañías prestadoras de este servicio*, las cuales corroboran los grandes ahorros económicos obtenidos, así como la eficiencia de estos sistemas en el proceso de facturación.

Otro de los ejemplos a destacar es el de la empresa **Nuri Telecom**, que ha impulsado la implementación de sistemas AMR en **Corea** y **Japón**. Para brindar cobertura a todos sus clientes utiliza diferentes formas en la transmisión de la información, la mayoría de usuarios hacen parte de alguna de las redes “Zigbee” formada por los propios dispositivos, le siguen los que usan la infraestructura celular CDMA, y una minoría la red de telefonía fija [4].

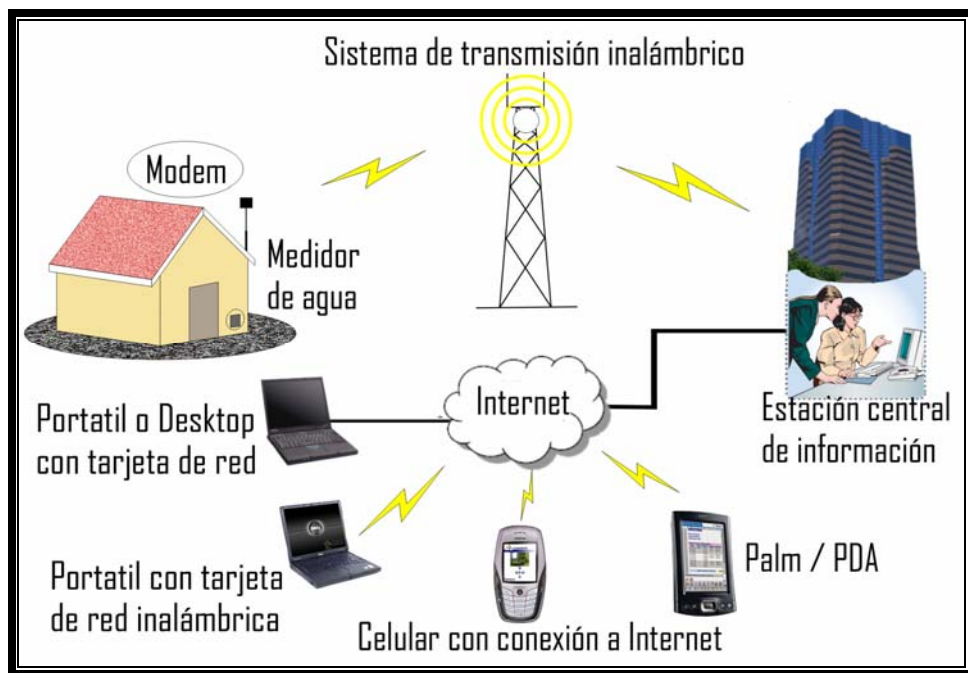
* Laclede Gas, Missouri Natural (MONAT), Sioux City Water Department son empresas en Estados Unidos que han implementado sistemas de telemetría para la facturación de consumos de servicios domiciliarios.

Existen empresas que han utilizado incluso redes de distribución de energía eléctrica, para la transmisión de los datos de consumos en sistemas de telemetría, así como la implementación de diferentes métodos para el envío de la información [5].

Planteamiento de la solución

En este proyecto se pretende diseñar e implementar un sistema de telemetría AMR (excepto la etapa de digitalización de los datos), que pueda transmitir las mediciones desde los contadores de agua, a través de un sistema de transmisión inalámbrico, hasta una estación central, en donde estos datos puedan ser almacenados y procesados, para luego ser visualizados desde cualquier lugar usando la red de Internet.

Figura 2. Esquema general del sistema de telemetría



Fuente: Autores

Todo sistema de telemetría, cuenta con etapas básicas como son: **recolección, transmisión y recepción, procesamiento, almacenamiento y visualización** de los datos.

La etapa de *transmisión* y *recepción* de los datos es una de las etapas más importantes del proceso de telemetría, y puede presentar diversas configuraciones según lo considere adecuado la empresa que implementa el sistema. Comprende la parte entre el Módem y la estación central de información, pasando por la infraestructura del sistema de transmisión inalámbrico.

En la estación central de información, es donde se realiza el *procesamiento*, *almacenamiento* y el manejo adecuado de los datos para su correcta *visualización* en la web.

En este proyecto **NO** se efectúa la digitalización de las lecturas de los contadores de agua; se parte de señales simuladas o bien de señales de prueba que se puedan obtener de los resultados del trabajo “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA AUTOMATIZAR LOS PROCESOS DE FACTURACIÓN EN LA COMPAÑÍA DE ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA” [6], el cual describe la conversión analógica-digital de los datos de un contador de agua de transmisión magnética, comúnmente utilizados en la ciudad de Bucaramanga.

El esquema general planteado en la figura anterior, debe cumplir las siguientes características:

- ✦ Garantizar la entrega de los datos a la central de información.
- ✦ Confiable, seguro y con el mínimo de errores.
- ✦ Costos de transmisión y mantenimiento bajos.
- ✦ Almacenamiento de los datos en una base de datos para su respectivo análisis y procesamiento.
- ✦ Aprovechar lo mejor posible los recursos del entorno utilizado.
- ✦ Factible y sencillo de implementar.
- ✦ Visualización de los datos por parte del usuario desde cualquier parte del mundo utilizando la red de Internet.
- ✦ Transmisión inalámbrica de los datos.
- ✦ Tiempo de transmisión lo más reducido posible.

1.1.3 *Justificación*

La implementación del sistema de telemetría inalámbrico a diseñar, presenta ventajas para las entidades que lo adopten, entre las cuales se tiene:

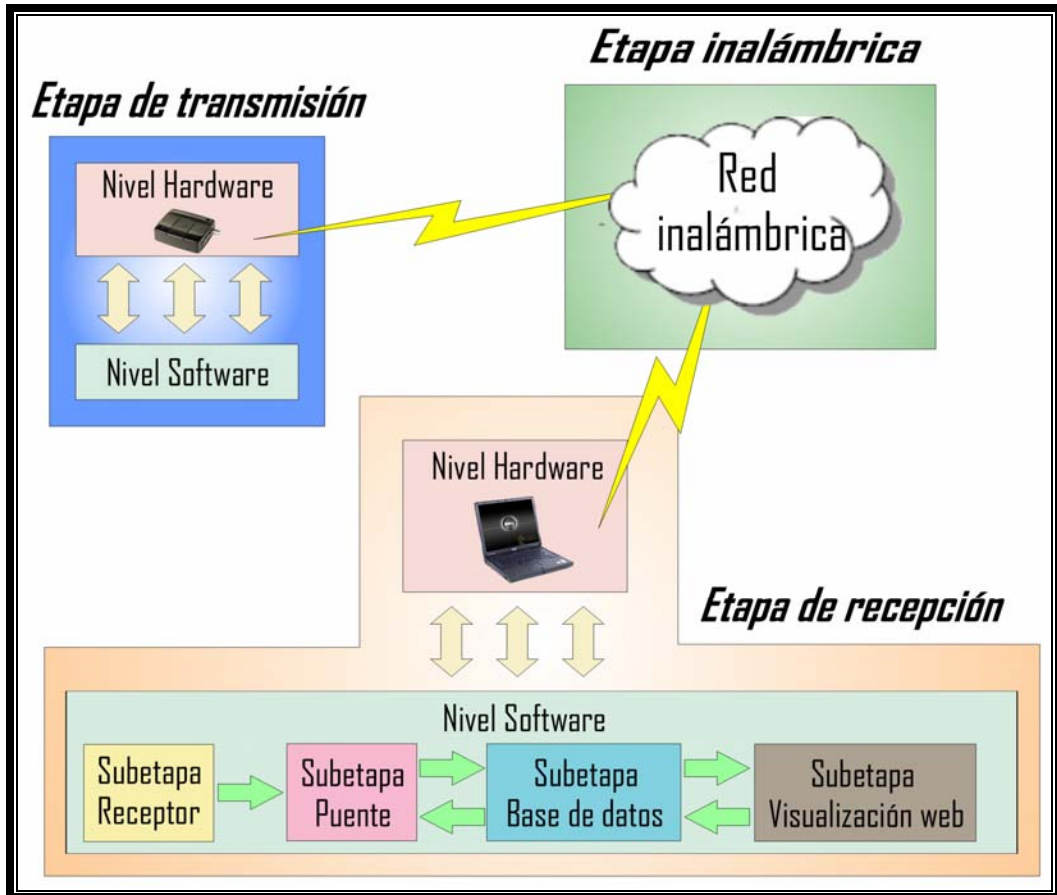
- Reducción en tiempo y costos por conceptos de medición.
- Agilización en el proceso de medición.
- Menor probabilidad de errores en la medida censada ya que este proceso es realizado por el sistema y no por un operario.
- Mantener la información de consumo actualizada para la visualización en cualquier instante desde Internet.
- Permitir tomar decisiones mas acertadas en el control por pérdidas.
- Ayudar a la prestación de un mejor servicio al cliente.
- Permitir a los usuarios tomar decisiones a tiempo ante posibles irregularidades en los datos suministrados desde Internet, como una mala facturación debido a fugas o desperfecto en los equipos de medición.
- Permitir a la empresa contar con **todos** los datos de consumo de la ciudad, ya que el proceso de medición es independiente de la ausencia o no del cliente.

1.2 ELABORACIÓN

En la caracterización del sistema de transmisión y recepción, se definen un conjunto de etapas, subetapas, niveles y variables que son estudiadas y analizadas a lo largo de este proyecto, con el fin de lograr una mejor comprensión del funcionamiento del mismo.

En la siguiente figura se muestra un esquema general del sistema de telemetría, el cual presenta tres etapas principales: **etapa de transmisión**, **etapa inalámbrica** y **etapa de recepción**.

Figura 3. Esquema general por etapas del sistema de telemetría



Fuente: Autores

1.2.1 Etapa de transmisión

En ésta se transmiten los datos provenientes de las mediciones de los contadores de agua hasta la red inalámbrica. Se divide en dos niveles: *Nivel hardware* y *Nivel software*.

Nivel hardware

Se escoge el dispositivo encargado de transmitir los datos desde la residencia del usuario hasta la red inalámbrica, haciendo necesario definir la variable:

⊕ *Módem*

Nivel Software

Se escoge el programa y el conjunto de instrucciones a ser usado por el *Modem* para realizar la transmisión de los datos, haciendo necesario definir la variable:

- ✦ ***Lenguaje de programación del Modem***

1.2.2 *Etapa inalámbrica*

En esta los datos son enviados desde la *Etapa de transmisión* hasta la *Etapa de recepción*, a través de una infraestructura inalámbrica, haciendo necesario definir las variables:

- ✦ ***Infraestructura de transmisión:*** conjunto de dispositivos que dan soporte físico al proceso de comunicación entre diversos puntos.
- ✦ ***Tecnología inalámbrica:*** conjunto de estándares y protocolos usados en el proceso de comunicación, está directamente ligada con la infraestructura de transmisión.

1.2.3 *Etapa de recepción*

En esta los datos son recibidos, procesados, almacenados y puestos luego al alcance de los usuarios a través de Internet. Se divide en dos niveles: *Nivel hardware* y *Nivel software*.

Nivel hardware

Se escoge el dispositivo encargado de recibir los datos que van llegando a la *Etapa de recepción*, haciendo necesario definir la variable:

- ✦ ***Hardware receptor***

Nivel software

Se implementan los programas necesarios para el correcto funcionamiento de los equipos encargados de la recepción de los datos. Para mejor comprensión de esta

etapa se han definido las siguientes subetapas: *Subetapa receptor*, *Subetapa puente*, *Subetapa base de datos* y *Subetapa visualización web*.

Subetapa Receptor. En esta se diseña e implementa un programa en el *hardware* receptor que pueda recibir los datos provenientes de la *Etapa inalámbrica* y enviarlos a la *Subetapa Puente*, haciendo necesario definir la variable:

- ✦ ***Lenguaje de programación "receptor" de datos***

Subetapa Puente. En esta se diseña e implementa un programa en el *hardware* receptor que pueda transferir correctamente los datos que van llegando de la *Subetapa receptor*, a la *Subetapa base de datos*, haciendo necesario definir la variable:

- ✦ ***Lenguaje de programación puente entre el receptor y la base de datos***

Subetapa base de datos. En esta se diseña e implementa un programa en el *hardware* receptor con la capacidad para insertar y almacenar la información proveniente de la *Subetapa puente* permitiendo la creación de una base de datos, haciendo necesario definir la variable:

- ✦ ***Motor de base de datos***

Subetapa visualización web: En esta se diseñan e implementan los programas en el *hardware* receptor, para poder visualizar la información almacenada en la *Subetapa base de datos*, en una página web en Internet. Haciendo necesario definir las variables:

- ✦ ***Servidor Web:*** programa que implementa el *Protocolo de Transferencia de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol, HTTP)*, para responder las peticiones de un usuario (cliente) a través de Internet.
- ✦ ***Lenguaje de programación para visualizar la base de datos en la web:*** programa a ser usado en la creación de una página web, y con posibilidad de interactuar con la base de datos.

1.3 CONSTRUCCIÓN

Con las variables definidas, se hace necesario un análisis detallado de las características, requerimientos e importancia de cada una de estas en el sistema total,

con el fin de crear un modelo eficiente y confiable, garantizando la funcionalidad del mismo.

Se definen una serie de requisitos para cada variable, los cuales son evaluados con el fin de obtener su importancia dentro del sistema, a través de los siguientes indicadores: *Estado*, *Prioridad* y *Riesgo*.

- ✦ **Estado:** muestra el grado de aprobación del requisito por parte de los diseñadores, y puede presentar las opciones: *propuesto*, *aprobado*, *incluido* o *validado*.
- ✦ **Prioridad:** indica el grado de preferencia del requisito dentro del proyecto y puede presentar las opciones: *alto*, *medio* o *bajo*.
- ✦ **Riesgo:** indica la importancia del requisito para el funcionamiento del sistema y puede tener presentar las opciones: *alto*, *medio* o *bajo*.

En las siguientes tablas se muestran las variables con sus requisitos principales.

Tabla 1. Requisitos Infraestructura de transmisión

Infraestructura de transmisión			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Sencilla y con bajos costos de implementación	Aprobado	Alto	Alto
Posea alta cobertura	Aprobado	Medio	Medio
Tiene permisos legales para su uso	Aprobado	Medio	Alto
Posibilidad de implementación actual en Colombia	Aprobado	Alto	Alto
Automatizada	Aprobado	Alto	Medio

Fuente: Autores

Tabla 2. Requisitos Modem

Modem			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Es inalámbrico	Aprobado	Alto	Alto
Capacidad de comunicarse con el dispositivo que realiza la lectura	Aprobado	Alto	Alto
Transmisión de datos usando la tecnología inalámbrica seleccionada	Aprobado	Alto	Alto

Fuente: Autores

Tabla 3. Requisitos Lenguaje de programación del Modem

Lenguaje de programación del Modem			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Comandos para transmitir datos de forma inalámbrica y acople con la tecnología escogida	Aprobado	Alto	Alto
Comandos para regular la velocidad, la calidad y confiabilidad en la transmisión de los datos	Aprobado	Medio	Medio

Fuente: Autores

Tabla 4. Requisitos Tecnología inalámbrica

Tecnología inalámbrica			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Posibilidad de implementación actual en Colombia	Aprobado	Alto	Alto
Facilidad de uso e implementación	Aprobado	Medio	Medio
Alta cobertura a bajos costos	Aprobado	Medio	Alto
Automatizada y confiable	Aprobado	Alto	Alto
Tiene permisos legales para su uso	Aprobado	Alto	Medio
Tecnología de vanguardia	Aprobado	Alto	Medio

Fuente: Autores

Tabla 5. Requisitos Hardware receptor

Hardware receptor			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Acoplable con la tecnología escogida	Aprobado	Alto	Alto
Fácil y factible de implementar	Aprobado	Medio	Medio
Programable para interactuar con la base de datos	Aprobado	Alto	Alto

Fuente: Autores

Tabla 6. Requisitos Lenguaje de programación “Receptor” de datos

Lenguaje de programación “Receptor” de datos			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Debe soportar el protocolo de comunicación escogido	Aprobado	Alto	Alto
Se acopla con la tecnología escogida	Aprobado	Alto	Alto
“Escucha” continuamente cada vez que los datos llegan	Aprobado	Alto	Alto
Fácil uso e implementación	Aprobado	Medio	Medio
Capacidad de transferir los datos recibidos hacia la base de datos	Aprobado	Alto	Alto

Fuente: Autores

Tabla 7. Requisitos Lenguaje de programación “Puente”

Lenguaje de programación “Puente” entre el receptor y la base de datos			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Lenguaje comercial	Aprobado	Medio	Bajo
Comandos para las comunicaciones	Aprobado	Alto	Alto
Herramientas y comandos para interactuar con la base de datos	Aprobado	Alto	Alto
Posibilidad de extensión a otras aplicaciones	Aprobado	Bajo	Bajo

Fuente: Autores

Tabla 8. Requisitos Motor de base de datos

Motor de base de datos			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Lenguaje comercial	Aprobado	Medio	Bajo
Fácil de usar e implementar	Aprobado	Medio	Medio
Alta capacidad de almacenamiento	Aprobado	Alto	Alto
Confiable	Aprobado	Alto	Alto
Posee comandos para insertar, borrar, buscar y actualizar los datos de forma específica	Aprobado	Alto	Alto

Fuente: **Autores**

Tabla 9. Requisitos Lenguaje de programación para visualización en la web

Lenguaje de programación para visualizar la base de datos en la web			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Lenguaje sencillo y fácil de programar	Aprobado	Medio	Bajo
Lenguaje acoplable con Internet	Aprobado	Alto	Alto
Capacidad de interactividad entre la base de datos y la pagina web	Aprobado	Alto	Alto

Fuente: **Autores**

Tabla 10. Requisitos Servidor web

Servidor web			
Requisitos	Estado	Prioridad	Riesgo
Comercial	Aprobado	Medio	Bajo
Fácil de instalar y usar	Aprobado	Bajo	Medio
Capacidad de trabajar con scripts que interactuen con la base de datos	Aprobado	Alto	Alto
Seguro	Aprobado	Alto	Alto

Fuente: Autores

2 ANÁLISIS (FASE ELABORACIÓN)

Este flujo de trabajo está concentrado en la fase de **Elaboración** tal como se aprecia en la *Figura 1*. Se muestran las posibles alternativas para cada una de las variables del sistema, mencionando sus ventajas y desventajas para la elección de alguna de estas opciones.

2.1 SELECCIÓN DE CADA UNA DE LAS VARIABLES

Se analizan las diversas opciones que presenta cada variable, y finalmente se elige la alternativa que este más acorde con el proyecto.

2.1.1 Selección de la infraestructura de transmisión

Para esta variable se consideran siete alternativas a analizar:

- ✦ Red de concentradores *Wi-Fi** con conexión inalámbrica a los hogares
- ✦ Red de concentradores *Wi-Fi* con conexión cableada a los hogares
- ✦ Terminal portátil (*Handheld*) con conexión *Bluetooth*†
- ✦ Transmisor/Receptor en auto con tecnología *Wi-Fi*
- ✦ Red híbrida *Wi-Fi/GSM*
- ✦ Red *GSM* existente
- ✦ Red *GSM/GPRS*‡ existente.

A continuación es ampliada la información referente a cada alternativa para la infraestructura de transmisión, mencionando puntos a favor y en contra de cada modelo, así como una breve conclusión.

* La tecnología *Wi-Fi* es tratada en forma más específica en el anexo A.

† Información más detallada sobre la tecnología *Bluetooth* puede ser encontrada en el anexo A.

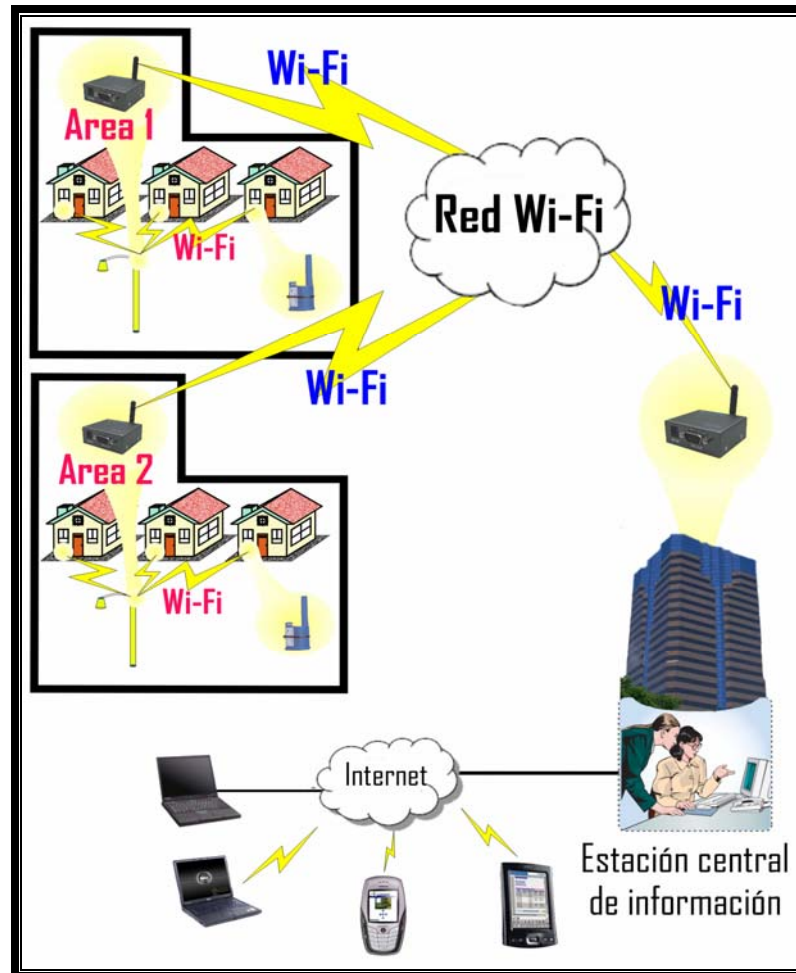
‡ Las tecnologías *GSM* y *GPRS* son estudiadas detalladamente en los anexos B y C.

Todos los modelos son presentados a través de una figura, que muestra de forma global la estructura de cada sistema.

Modelo 1: Red de concentradores Wi-Fi con conexión inalámbrica a los hogares

Esta fue la primera propuesta de diseño considerada para la *infraestructura de transmisión*; consta de un conjunto de transmisores *Wi-Fi (IEEE 802.11b)* ubicados en los diversos hogares, los cuales envían los datos de consumo hasta el concentrador de información (también tecnología *Wi-Fi*) más cercano en esa área, y de allí hasta la estación central de información a través de la red *Wi-Fi*, utilizando la ruta más corta. A continuación se muestra una figura con el funcionamiento general del sistema.

Figura 4. Red de concentradores Wi-Fi con conexión inalámbrica a los hogares



Fuente: Autores

En este modelo la cantidad de usuarios pertenecientes a una determinada área está determinada por el alcance de cada concentrador, y el conjunto de todos estos conforman la red *Wi-Fi*.

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas del modelo planteado.

Tabla 11. Red de concentradores *Wi-Fi* con conexión inalámbrica a los hogares

Red de concentradores <i>Wi-Fi</i> (conexión inalámbrica)	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Opera en la banda ISM, la cual es de uso libre y sin costo alguno. ✓ Las redes <i>Wi-Fi</i> son relativamente fáciles de instalar, usar y manejar. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Costo elevado en equipos, instalación y mantenimiento de la red. ✗ Necesidad de implementar un transmisor por casa, y de un concentrador por cada sector. ✗ Necesidad de implementar software que le indique a los concentradores la ruta más corta hasta la central de información. ✗ Es inseguro. ✗ Posee baja cobertura.

Fuente: Autores

Este modelo presenta desventajas que lo hacen ineficiente, sobre todo desde el punto de vista económico, debido a que es necesario instalar un transmisor *Wi-Fi* por cada contador de agua, además de un concentrador por cada área*.

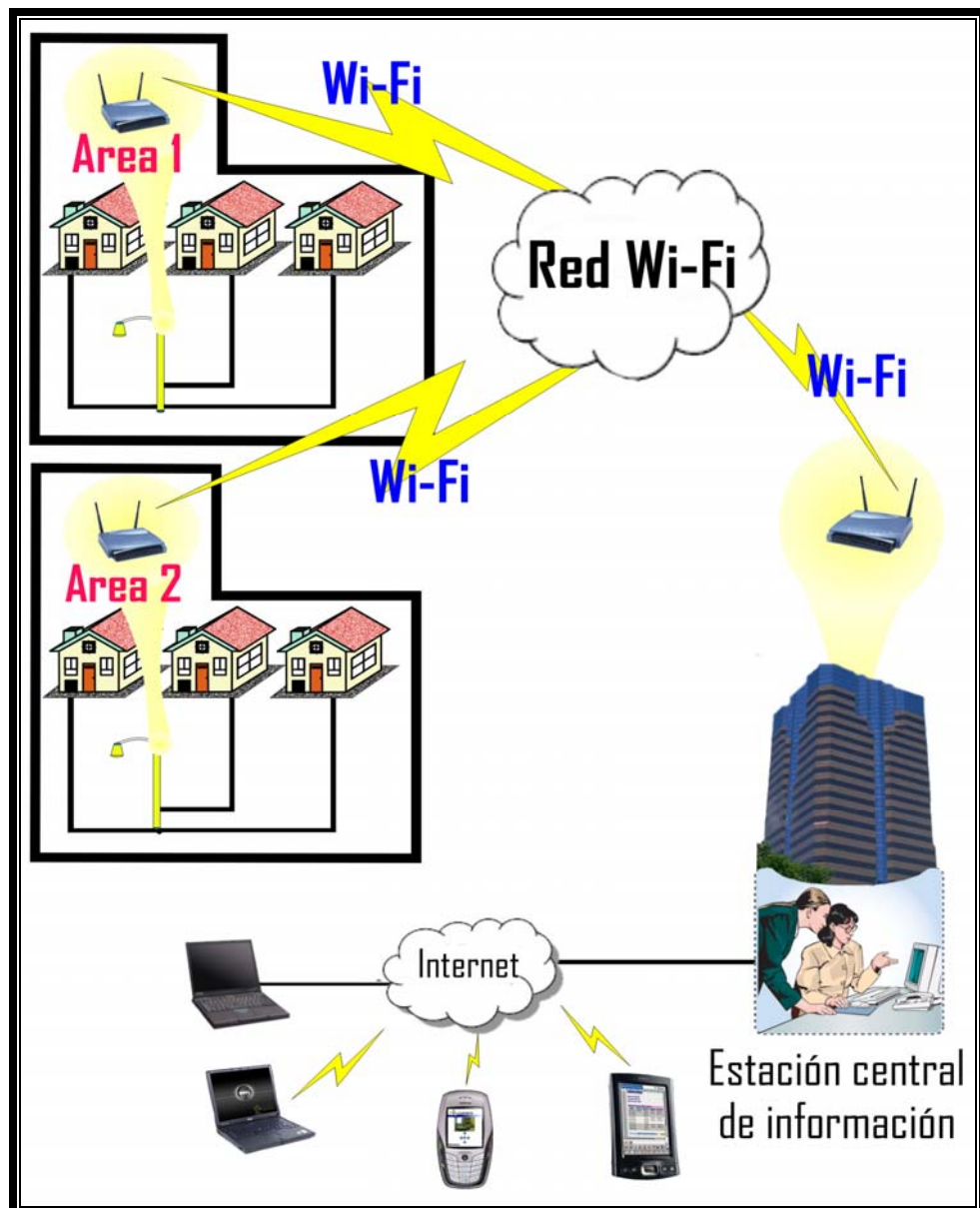
En busca de una menor inversión económica en la implementación del proyecto, surge un modelo similar al expuesto que es analizado a continuación.

* Los concentradores se hacen necesarios debido al corto alcance de los dispositivos *Wi-Fi*, alrededor de 100 m.

Modelo 2: Red de concentradores Wi-Fi con conexión cableada a los hogares

Está basado en el *modelo* anterior, pero se diferencia de este porque utiliza conexiones cableadas entre el concentrador y los hogares. A continuación se muestra una figura con el funcionamiento general del sistema.

Figura 5. Red de concentradores Wi-Fi con conexión cableada a los hogares



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas del modelo planteado.

Tabla 12. Red de concentradores Wi-Fi con conexión cableada a los hogares

Red de concentradores Wi-Fi (conexión cableada)	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Opera en la banda ISM, la cual es de uso libre y sin costo alguno. ✓ Las redes Wi-Fi son relativamente fáciles de instalar, usar y manejar. ✓ Presenta un ahorro en inversión comparado con el modelo anterior, ya que no se requieren dispositivos inalámbricos en cada hogar . 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Costo elevado en equipos, instalación y mantenimiento de la red. ✗ Necesidad de implementar software que le indique a los concentradores la ruta más corta hasta la central de información. ✗ Es inseguro y vulnerable. ✗ Posee baja cobertura.

Fuente: Autores

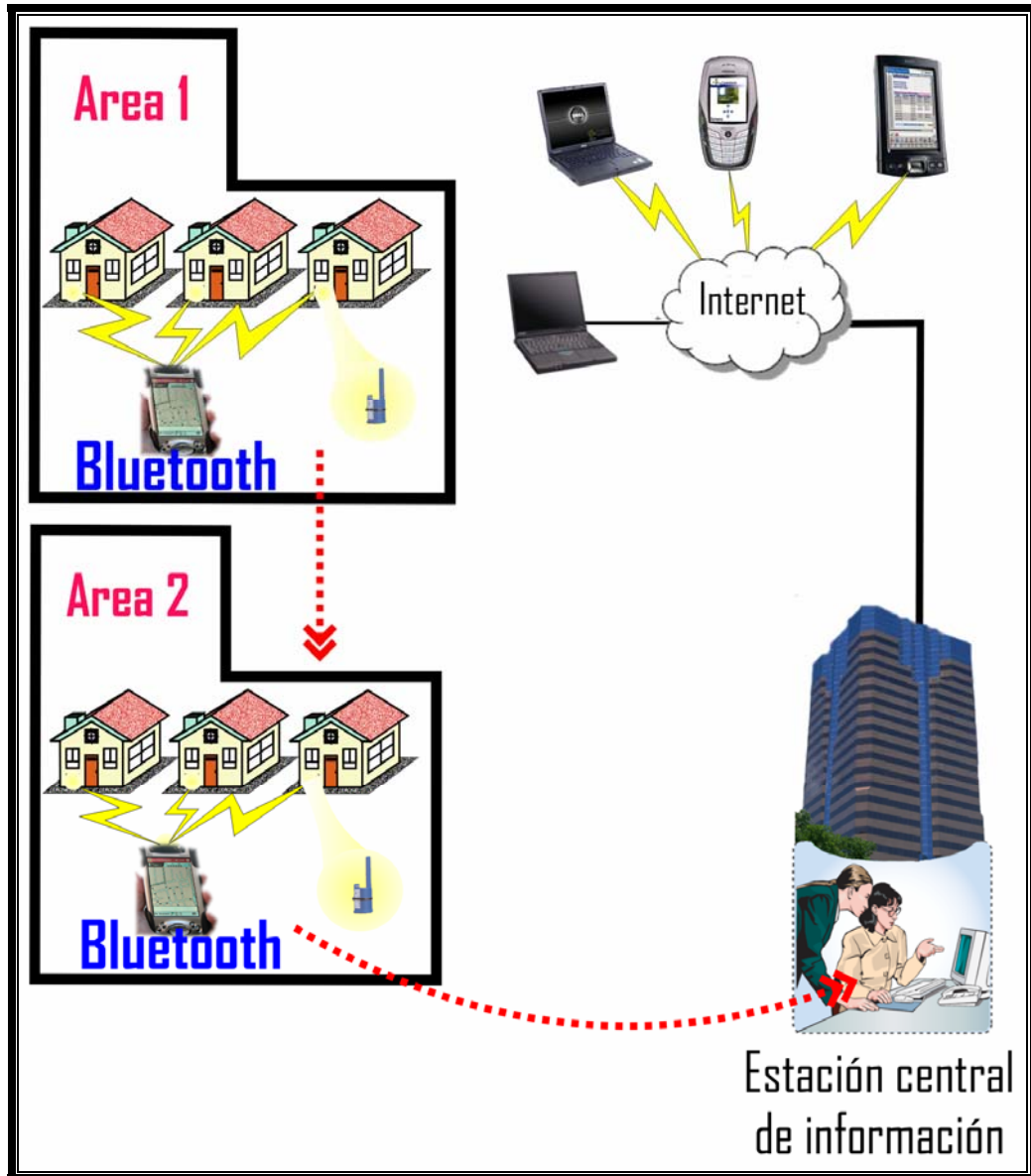
Esta opción de diseño representa una ventaja económica comparada con el modelo anterior, debido a que elimina la necesidad de usar transmisores *Wi-Fi* en cada hogar, haciendo el sistema menos costoso, más fácil de instalar y mantener, pero también más vulnerable, porque el medio de comunicación empleado entre el concentrador y el *Modem* es un cable, que puede ser alterado (desconectado) con relativa facilidad según la accesibilidad que tengan las personas del mismo.

Aunque este modelo representa una ventaja económica frente al modelo anterior, su vulnerabilidad plantea la necesidad de considerar nuevas opciones de diseño.

Modelo 3: Terminal portátil (Handheld) con conexión Bluetooth

Esta opción de diseño propone el uso de equipos con tecnología *Bluetooth*: transmisores (ubicados en los diversos hogares) y terminales portátiles (*handheld*). Estos últimos como dispositivos para el almacenamiento de la información de consumo de los usuarios. A continuación se muestra una figura con el funcionamiento general del sistema.

Figura 6. Terminal portátil (Handheld) con conexión Bluetooth



Fuente: Autores

En este modelo una o varias personas contratadas por la empresa, se desplazan por las diferentes áreas con los terminales portátiles (*Handheld*), los cuales envían peticiones a los *Modems* que se encuentren a su alcance, para que establezcan una comunicación que permita la transmisión de los datos de consumo. Finalmente la información almacenada es llevada a la estación central de información para su procesamiento y almacenamiento.

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas del modelo planteado.

Tabla 13. Terminal portátil (Handheld) con conexión Bluetooth

Handheld con conexión Bluetooth	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Opera en la banda ISM, la cual es de uso libre y sin costo alguno. ✓ Sistema relativamente económico, fácil de implementar, usar y mantener. ✓ Baja vulnerabilidad, dado que la medición se realiza directamente en los hogares. ✓ No requiere la implementación de una red de transmisión . 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Poco automatizado, ya que existe la necesidad de ir censando los datos de consumo casa por casa. ✗ Contratación de personal para la realización de las mediciones. ✗ Tiempos de recolección de mediciones dependen del tamaño del área a cubrir, así como de la cantidad de personal contratado para tal fin.

Fuente: Autores

A pesar de que este modelo no necesite construir una red para la transmisión de la información, y aunque la transferencia de los datos entre distancias cortas represente una vulnerabilidad menor para el sistema, los requerimientos de personal que se desplace por las diversas áreas plantea la necesidad de proponer alternativas más automatizadas.

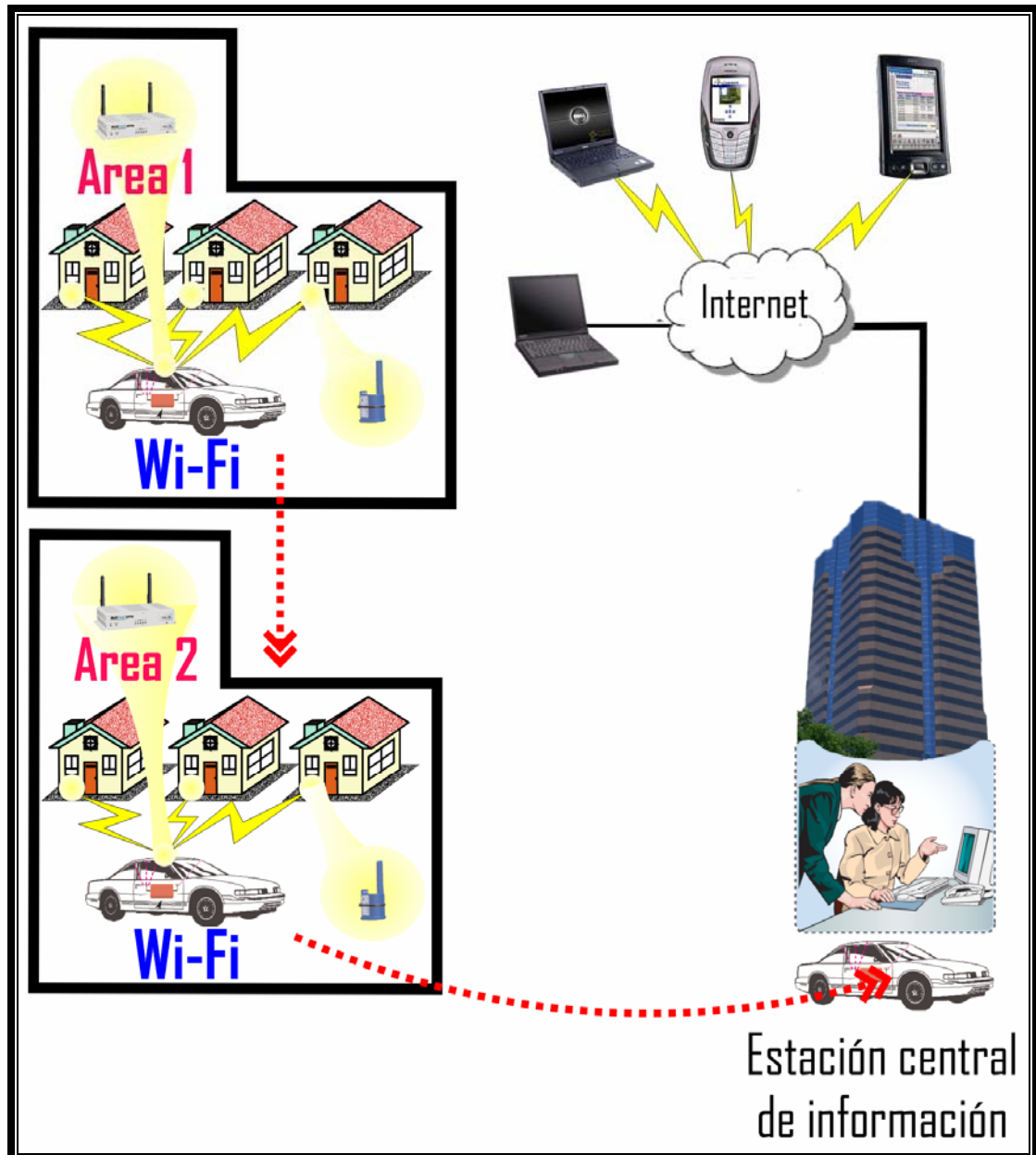
Modelo 4: Transmisor/Receptor en auto con tecnología Wi-Fi

Esta opción de diseño propone el uso de equipos con tecnología *Wi-Fi*: transmisores (ubicados en los diversos hogares) y un Transmisor/Receptor ubicado en un vehículo. Este último con la capacidad de almacenar una gran cantidad de datos, alcance medio, y velocidades de conexión, transmisión y desconexión elevadas.

En este modelo un automóvil equipado con un Transmisor/Receptor, se desplace por las diferentes áreas a una velocidad moderada, mientras va enviando peticiones a los *Modems* que se encuentran a su alcance, para que establezcan una comunicación que

permita la transmisión de los datos de consumo. Finalmente la información almacenada es llevada a la estación central de información para su procesamiento y almacenamiento. A continuación se muestra una figura con el funcionamiento general del sistema.

Figura 7. Transmisor/Receptor en auto con tecnología Wi-Fi



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas del modelo planteado:

Tabla 14. Transmisor/Receptor en auto con tecnología Wi-Fi

Receptor en auto con tecnología Wi-Fi	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Opera en la banda ISM, la cual es de uso libre y sin costo alguno. ✓ Sistema relativamente económico, fácil de implementar, usar y mantener. ✓ Baja vulnerabilidad, dado que la medición se realiza directamente en los hogares. ✓ No existe la necesidad de construir una red para la transmisión de los datos. ✓ El uso del automóvil agiliza el proceso de medición, y disminuye la cantidad de personal necesario para realizar las lecturas de los medidores. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Poco automatizado, ya que existe la necesidad de ir censando los datos de consumo por sectores. ✗ Contratación de personal para la realización de las mediciones. ✗ Tiempos de recolección de mediciones dependen del tamaño del área a cubrir, así como de la cantidad de autos y personal asignados para tal fin.

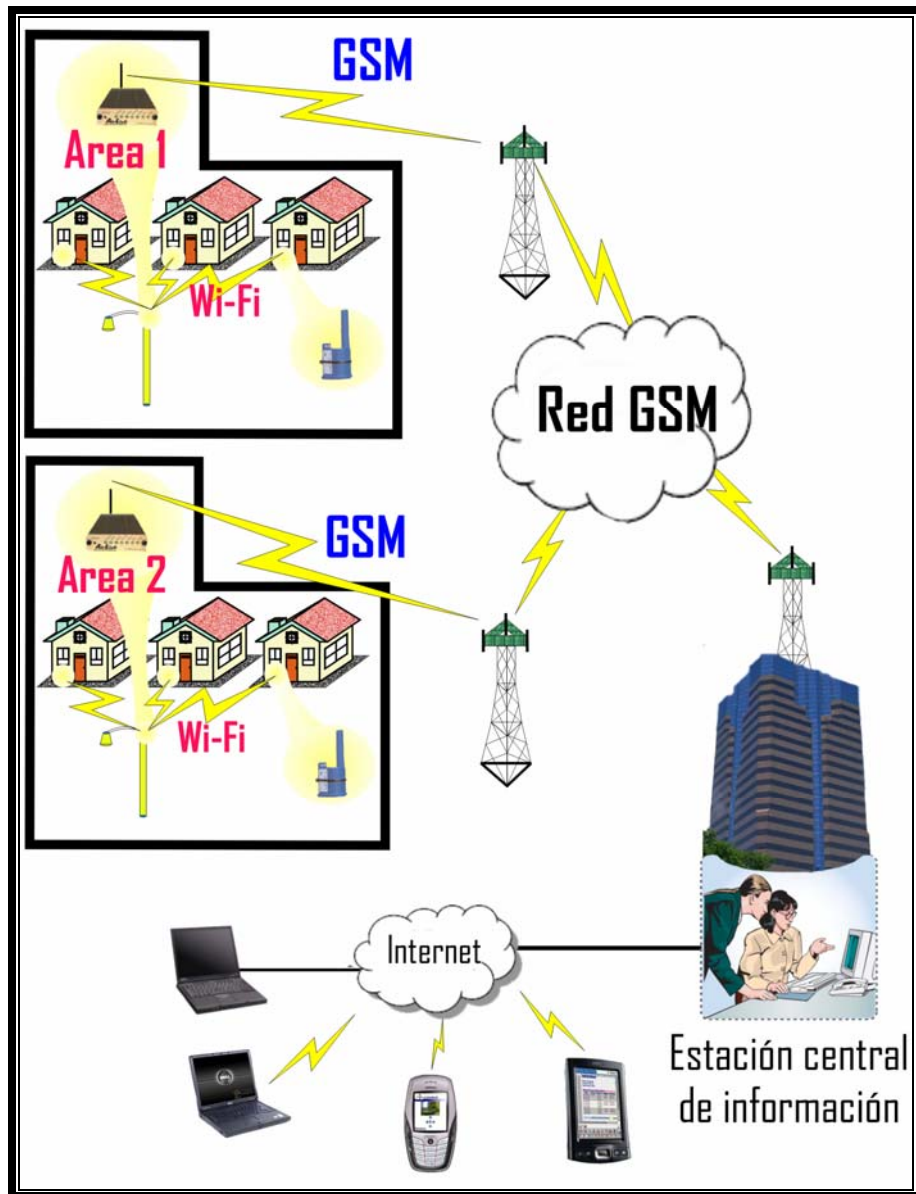
Fuente: Autores

A pesar de que este modelo no necesite construir una red para la transmisión de la información, aunque la transferencia de los datos entre distancias cortas represente una vulnerabilidad menor para el sistema, además de que el grado de automatización sea mayor que en la alternativa anterior, la inversión en un automóvil, así como el requerimiento de personal que lo maneje plantea la necesidad proponer opciones aún más automatizadas.

Modelo 5: Red híbrida Wi-Fi / GSM

Este modelo hace uso de tecnologías de comunicación diferentes: *Wi-Fi* (entre los *Modems* y los concentradores) y *GSM* (entre los concentradores y la estación central de información). A continuación se muestra una figura con el funcionamiento general del sistema.

Figura 8. Red híbrida Wi-Fi / GSM



Fuente: Autores

En este modelo los datos de consumo son enviados desde los *Modems* (tecnología *Wi-Fi*) hasta el concentrador (tecnología *Wi-Fi/GSM*) más cercano, y de allí la información es enviada a través de la red GSM hasta la estación central de información en forma de mensajes de texto.

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas del modelo planteado.

Tabla 15. Red híbrida Wi-Fi / GSM

Red híbrida Wi-Fi / GSM	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Presenta alta cobertura, debido a que utiliza la red GSM existente. ✓ Sistema totalmente automatizado. ✓ No existe la necesidad de construir una red para la transmisión de los datos. ✓ La tecnología GSM implementa el software necesario para que los datos tomen la ruta más corta y óptima hasta la estación central. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Uso de diferentes tecnologías para la transmisión de los datos, y problemas en la sincronización de las mismas. ✗ Costos generados al utilizar la red GSM como medio de transmisión. ✗ El uso de concentradores y la red GSM, representa un grado mayor de vulnerabilidad en el sistema ✗ Imposibilidad de enviar los datos de consumo hasta la estación central, si la red GSM falla por cualquier motivo.

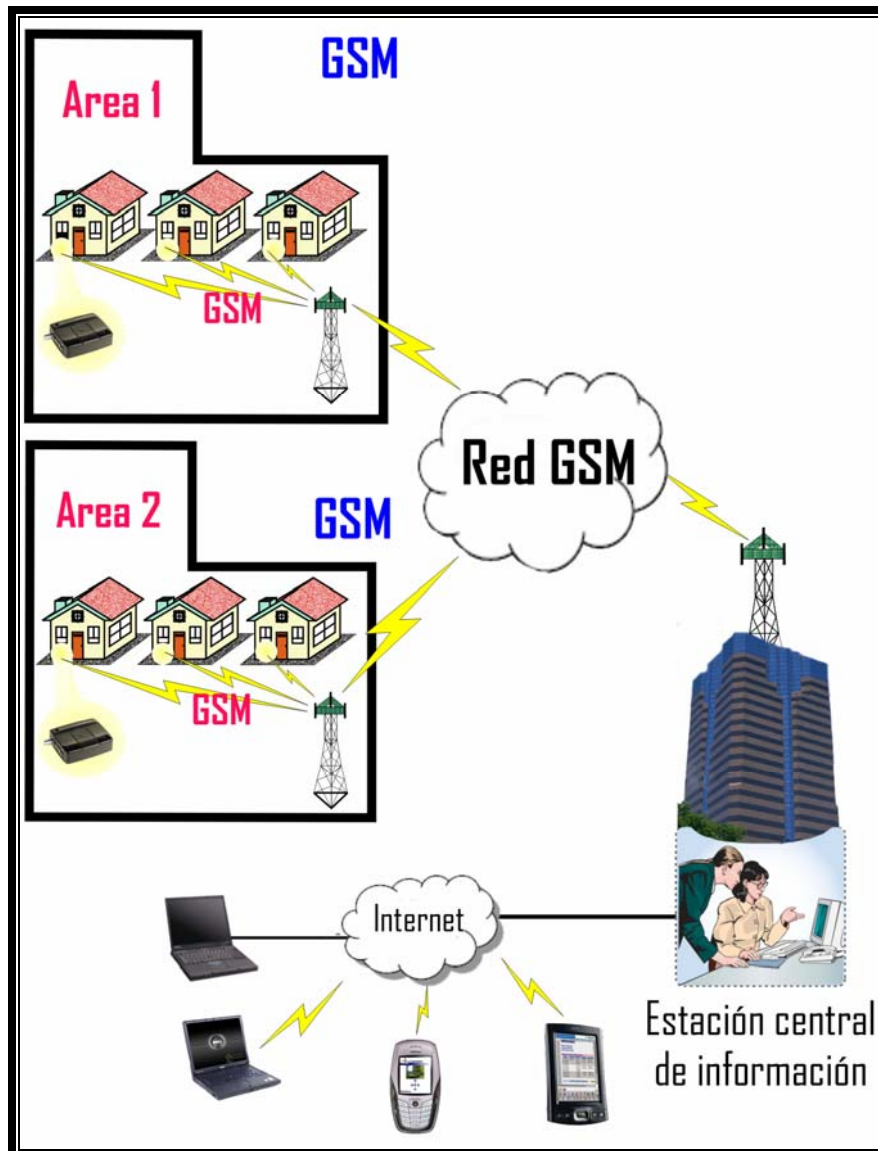
Fuente: Autores

Este modelo que hace uso de diversas tecnologías en la infraestructura de la transmisión es presentado con el fin de mostrar las diferentes opciones en el diseño del sistema, ya que este presenta desventajas que lo hacen poco factible de implementar, tales como: uso de transmisores en cada hogar, uso de concentradores con capacidad de manejar protocolos *Wi-Fi* y *GSM*, dependencia de la red *GSM* para su funcionamiento, entre otros. Todas estas dificultades plantean la necesidad de proponer alternativas diferentes a las anteriores.

Modelo 6: Red GSM existente

Este modelo consta de un conjunto de transmisores GSM ubicados en los diversos hogares, los cuales envían los datos de consumo hasta la estación base más cercana, y de allí son transferidos hasta la estación central de información a través de la red GSM utilizando la ruta más corta. A continuación se muestra una figura con el funcionamiento general del sistema.

Figura 9. Red GSM existente



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas del modelo planteado:

Tabla 16. Red GSM existente

Red GSM existente	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ En Bucaramanga y Colombia existen una gran cantidad de redes GSM, lo que le otorga una amplia cobertura. ✓ Sistema totalmente automatizado. ✓ No existe la necesidad de construir una red para la transmisión de los datos. ✓ La tecnología GSM implementa el software necesario para que los datos tomen la ruta más corta y óptima hasta la estación central. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Los dispositivos GSM usados en cada contador, son relativamente costosos lo que representa una alta inversión para su implementación. ✗ Costos generados al utilizar la red GSM como medio de transmisión. ✗ Imposibilidad de enviar los datos de consumo hasta la estación central, si la red GSM falla por cualquier motivo o si hay congestión en la red.

Fuente: Autores

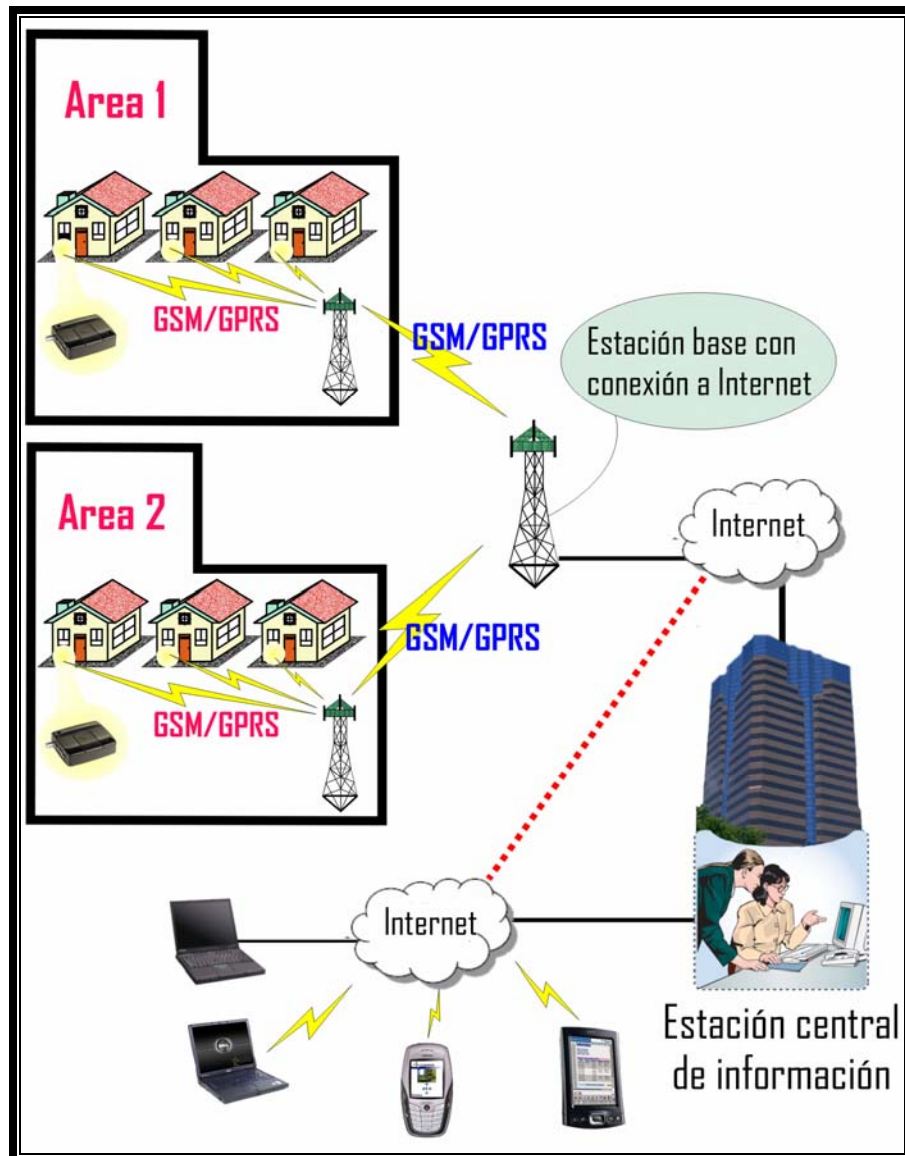
Este sistema presenta algunas ventajas sobresalientes, comparado con los modelos anteriores. La existencia de las redes *GSM* reduce los costos de inversión iniciales, al no requerir la implementación de una red para la transmisión de los datos hasta la estación central de información, además esta opción de diseño automatiza totalmente el proceso de medición de los consumos de agua.

Pero este modelo presenta algunas desventajas, tales como: la facturación por usar la red *GSM* se realiza por el tiempo de conexión a la misma, por lo cual se hace necesario que los dispositivos transmisores sólo se conecten cuando se vaya a realizar la transferencia de la información y que depende totalmente del funcionamiento de la infraestructura celular. Las diversas dificultades que presenta este sistema plantean la necesidad de plantear alternativas más completas y eficientes.

Modelo 7: Red GSM/GPRS existente

Este es similar al modelo anterior, consta de un conjunto de transmisores *GSM/GPRS* ubicados en los diversos hogares, los cuales envían los datos de consumo hasta la estación base más cercana, la cual transfiere los datos hasta la antena celular con conexión a Internet más cercana, para luego ser enviados a través de la web hasta la estación central de información.

Figura 10. Red GSM/GPRS existente



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas del modelo planteado.

Tabla 17. Red GSM/GPRS existente

Red GSM / GPRS existente	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ En Bucaramanga y Colombia está aumentando el número de redes GSM/GPRS, brindándole al sistema una amplia cobertura. ✓ Sistema totalmente automatizado. ✓ No existe la necesidad de construir una red para la transmisión de los datos. ✓ La tecnología GSM/GPRS implementa software necesario para que los datos tomen la ruta más corta y óptima hasta la estación central. ✓ Posibilidad de enviar los datos de consumo a través de la Internet, a cualquier lugar del mundo. ✓ La estación central de información puede estar ubicada en cualquier lugar del mundo. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Los dispositivos GSM/GPRS usados en cada contador son relativamente costosos, lo que representa una alta inversión para su implementación. ✗ Costos generados al utilizar la red GSM/GPRS como medio de transmisión. ✗ Alta vulnerabilidad al usar Internet como medio de transmisión de los datos de consumo.

Fuente: Autores

Este modelo presenta numerosas ventajas frente al resto de esquemas planteados anteriormente: automatiza totalmente el proceso de medición de los consumos, los costos de implementación son menores, los datos pueden ser enviados a cualquier lugar del mundo para su respectivo procesamiento, entre otros.

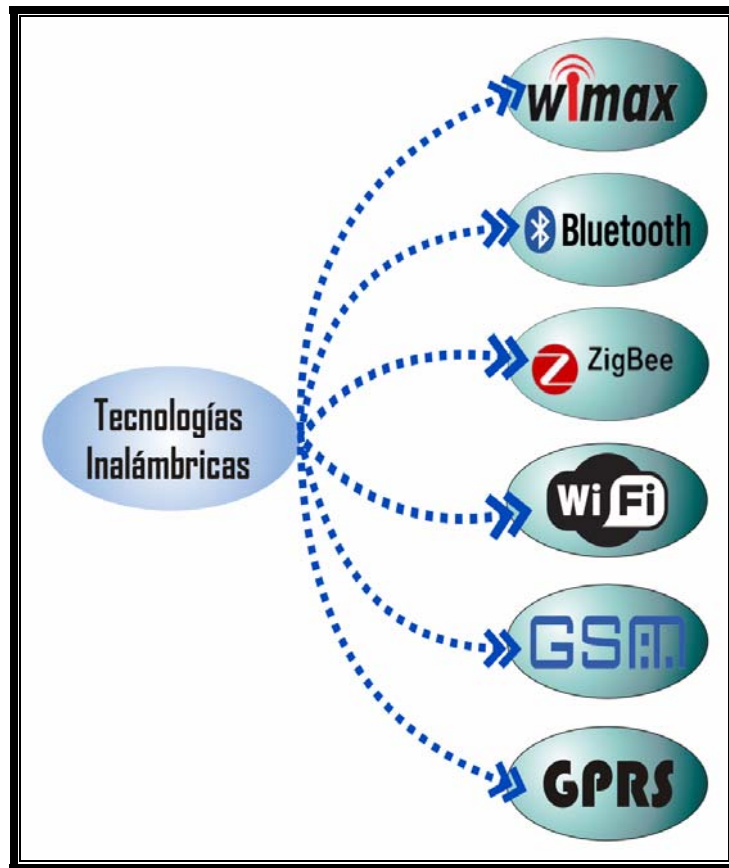
Otra ventaja es el hecho de que el cobro por usar la red GSM/GPRS se hace por el volumen de datos enviados y no por el tiempo de conexión, como lo hace GSM, reduciendo considerablemente los costos en la transmisión.

Por lo tanto la red GSM/GPRS existente se elige como la infraestructura de transmisión en este proyecto.

2.1.2 Selección de la tecnología inalámbrica

En la selección de la tecnología inalámbrica a usar se analizan seis posibles alternativas: *Wimax*, *Bluetooth*, *Zigbee* *, *Wi-Fi*, *GSM* y *GPRS* †. A continuación se muestra una figura con las diversas posibilidades.

Figura 11. Tecnologías inalámbricas



Fuente: Autores

La tecnología inalámbrica es seleccionada a partir del modelo escogido para la infraestructura de transmisión (*Red GSM/GPRS existente*).

Por lo tanto *GPRS* se elige como la tecnología inalámbrica en este proyecto.

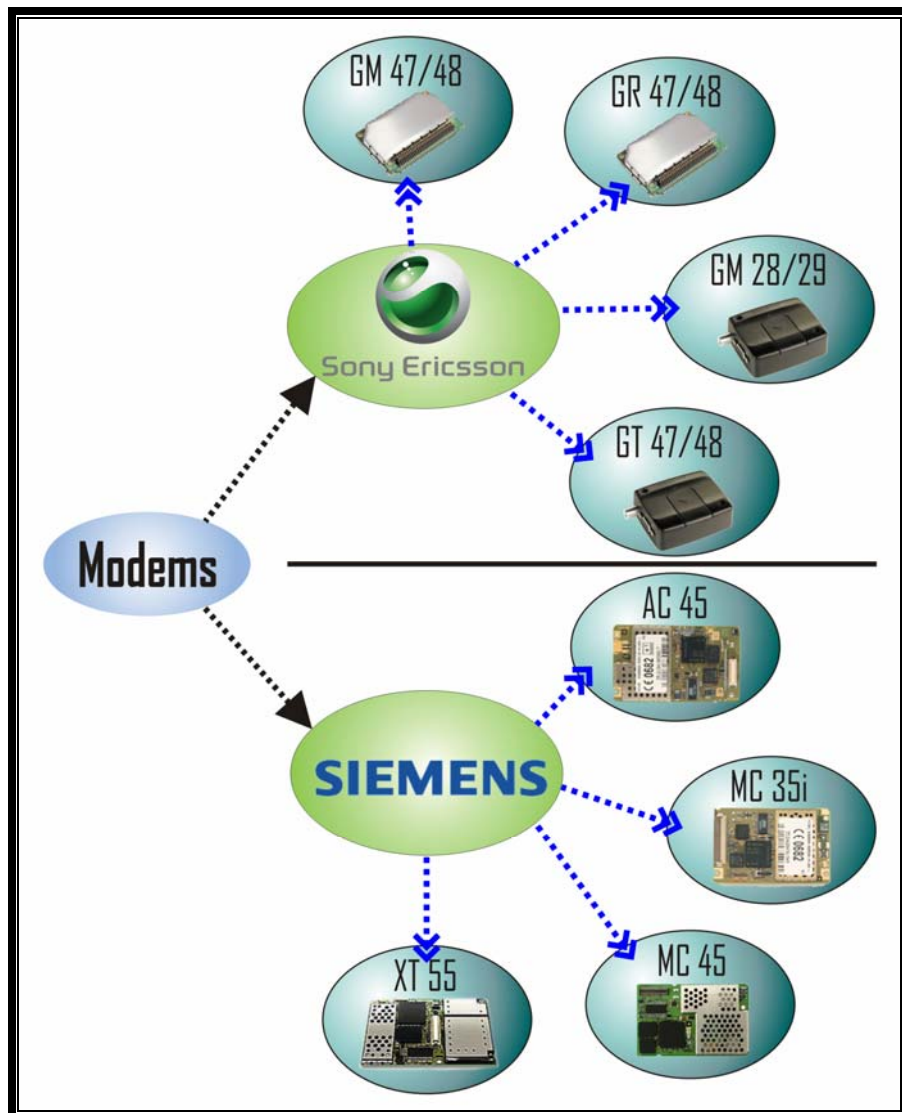
* Las tecnologías *Wimax*, *Bluetooth*, *Zigbee* y *Wi-Fi* son expuestas de forma más detallada en el anexo A.

† Las tecnologías *GSM* y *GPRS* son tratadas específicamente en los anexos B y C.

2.1.3 Selección del Modem

En la selección del *Modem* a usar se analizan ocho posibles alternativas: cuatro de la empresa **Sony Ericsson** (*GM 47/48*, *GR 47/48*, *GM 28/29* y *GT 47/48*) y cuatro de la compañía **Siemens** (*AC45*, *MC 35i*, *MC 45* y *XT 55*). Todos estos módulos presentan conectividad *GSM/GPRS*, necesaria para el desarrollo del proyecto. A continuación se muestra una figura y tablas con las ventajas y desventajas de las diversas posibilidades.

Figura 12. Modems







Fuente: Autores

Tabla 18. Modems (Sony Ericsson)

	Ventajas	Desventajas
<p>GM 47/48</p>  <p>Sony Ericsson</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transmisión de datos, voz, fax y SMS. ✓ Transmisión de paquetes TCP/IP. ✓ Interoperabilidad GPS. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Diseño de las conexiones del circuito para los terminales de salida requeridos (soldadura) . ✗ Este dispositivo presenta un precio comercial relativamente alto, debido esencialmente al chip GPS que trae.
<p>GR 47/48</p>  <p>Sony Ericsson</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transmisión de datos, voz, fax y SMS. ✓ Transmisión de paquetes TCP/IP. ✓ Interoperabilidad GPS. ✓ Compatible con M2Mpower. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Diseño de las conexiones del circuito para los terminales de salida requeridos (soldadura) . ✗ Este dispositivo presenta un precio comercial relativamente alto, debido esencialmente al chip GPS que trae.
<p>GM 28/29</p>  <p>Sony Ericsson</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transmisión de datos, voz, fax y SMS. ✓ Transmisión de paquetes TCP/IP. ✓ Interface serial RS 232. ✓ Presenta carcaza de protección, así como otros puertos. 	
<p>GT 47/48</p>  <p>Sony Ericsson</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transmisión de datos, voz, fax y SMS. ✓ Transmisión de paquetes TCP/IP. ✓ Interface serial RS 232. ✓ Presenta carcaza de protección, así como otros puertos. ✓ Interoperabilidad GPS. ✓ Compatible con M2Mpower. ✓ Conversor analógico-digital. ✓ Microcontrolador incorporado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Este dispositivo presenta un precio comercial relativamente alto; el más costoso de Sony Ericsson.

Fuente: Autores

Tabla 19. Modems (Siemens)

	Ventajas	Desventajas
<p>AC 45 SIEMENS</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transmisión de datos, voz, fax y SMS. ✓ Interface serie asíncrono. ✓ Transmisión de paquetes TCP/IP. ✓ Kit de aplicaciones para la SIM. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Diseño de las conexiones del circuito para los terminales de salida requeridos (soldadura) .
<p>MC 35i SIEMENS</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transmisión de datos, voz, fax y SMS. ✓ Transmisión de paquetes TCP/IP. ✓ Interface serial RS 232. ✓ Velocidades de transmisión elevadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Diseño de las conexiones del circuito para los terminales de salida requeridos (soldadura) .
<p>MC 45 SIEMENS</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporta datos, voz, fax, SMS y WAP. ✓ Transmisión de paquetes TCP/IP. ✓ Interface serie asíncrono. ✓ Kit de aplicaciones para la SIM. ✓ Velocidades de transmisión elevadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Diseño de las conexiones del circuito para los terminales de salida requeridos (soldadura) . ✗ Este dispositivo presenta un precio comercial relativamente alto.
<p>XT 55 SIEMENS</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soporta datos, voz, fax, SMS y WAP. ✓ Transmisión de paquetes TCP/IP. ✓ Tribanda: GSM 900, GSM 1800 y GSM 1900. ✓ Interoperabilidad GPS. ✓ Kit de aplicaciones para la SIM. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Este dispositivo presenta un precio comercial relativamente alto; el más costoso de Siemens. ✗ Diseño de las conexiones del circuito para los terminales de salida requeridos (soldadura) .

Fuente: Autores

Después de un análisis de las características de cada dispositivo, el módulo **GM 28** de la empresa **Sony Ericsson** se elige como Modem para este proyecto.

2.1.4 Selección del lenguaje de programación del Modem

Una vez elegido el *Modem (GM 28)*, el lenguaje de programación del mismo queda determinado por las especificaciones del módulo.

*Por lo tanto los **COMANDOS AT*** son el lenguaje de programación usado por el Modem en este proyecto.*

2.1.5 Selección del hardware receptor

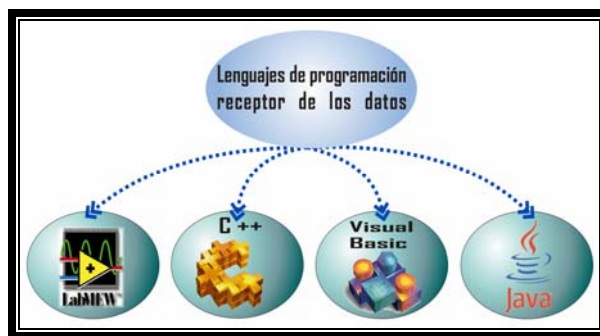
Al escoger *GPRS* como tecnología inalámbrica de transmisión, los datos pasan de la red de telefonía celular a la red de Internet, por lo cual se hace necesario en la estación central de información el uso de un *PC* que pueda ir almacenando los datos provenientes desde la web tan pronto van llegando.

*Por lo tanto se elige un **PC** como hardware receptor en este proyecto.*

2.1.6 Selección del lenguaje de programación "Receptor" de datos

En la selección del lenguaje de programación "Receptor" de los datos a usar se analizan cuatro posibles alternativas: *Labview*, *C++*, *Visual Basic* y *Java* [7]. A continuación se muestra una figura con las diversas posibilidades.

Figura 13. Lenguajes de programación para el "receptor" de los datos



Fuente: Autores

* Información más detallada sobre el uso de los *COMANDOS AT* se encuentra en el anexo D.

Escogido el *PC* como *hardware* receptor, se debe elegir el lenguaje para programar este equipo, de forma que pueda utilizar uno o varios puertos de comunicación del mismo para recibir los datos provenientes de Internet, y por lo tanto soportar los protocolos *TCP/IP*. En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas de cada alternativa propuesta.

Tabla 20. Lenguajes de programación para el “receptor” de los datos

	Ventajas	Desventajas
<p>Labview</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Facilidad en la programación de la etapa de recepción de los datos, debido a la interfaz gráfica que usa. ✓ Comandos de control directo sobre los puertos de comunicación, que facilitan la programación al usuario . 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Costos de licencia del programa son relativamente altos .
<p>C ++</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Potente, robusto, fiable y seguro. ✓ Rapidez en la ejecución de los programas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ No presenta una arquitectura estándar de desarrollo orientada a Internet. ✗ Dificultad en el proceso de programación, debido a que es un lenguaje de bajo nivel.
<p>Visual Basic</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil, robusto, fiable y seguro. ✓ Rapidez en la ejecución de los programas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ No presenta una arquitectura estándar de desarrollo orientada a Internet.
<p>Java</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Potente, robusto, fiable y seguro. ✓ Comandos que implementan conexiones TCP/IP, y facilitan la recolección de los datos desde Internet. ✓ Es multiplataforma. ✓ Desarrollo de aplicaciones en forma efectiva y eficiente. ✓ Implementa interconexiones con las bases de datos usando un API llamado JDBC. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Dificultad en el proceso de programación, debido a los comandos usados para programar.

Fuente: Autores

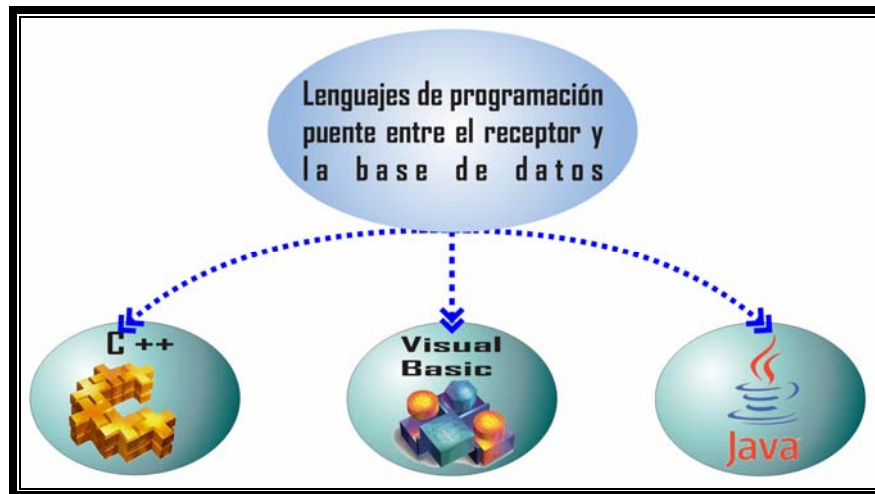
De las alternativas anteriores, la más acorde a las necesidades del proyecto es *“java”*, debido a que es un lenguaje potente, robusto, versátil, fiable, seguro y presenta los comandos necesarios para realizar la recolección de los datos de la red de Internet, así como la capacidad de interactuar con algunas bases de datos.

Por lo tanto *Java* se elige como el lenguaje de programación “Receptor” de datos en este proyecto.

2.1.7 Selección del lenguaje de programación “Puente”

La *Subetapa puente* es la encargada de llevar los datos desde el *hardware* receptor hasta la *Subetapa base de datos*. En la selección del lenguaje de programación “Puente” a usar se analizan tres posibles alternativas: *C++*, *Visual Basic* y *Java* [7]. A continuación se muestra una figura con las diversas posibilidades.

Figura 14. Lenguajes de programación “puente”



Fuente: Autores

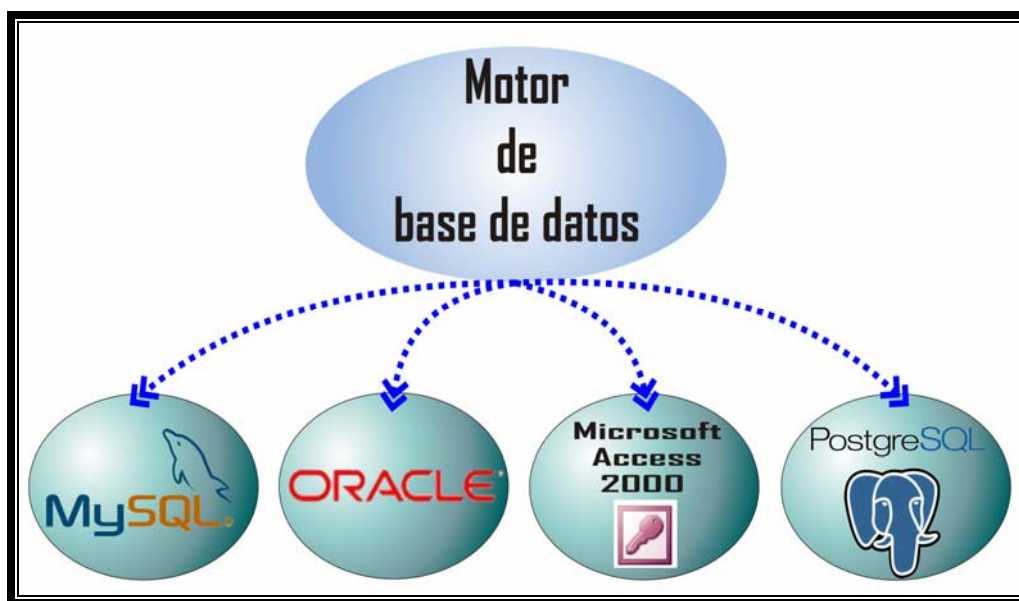
En la tabla anterior (*Selección del lenguaje de programación “Receptor” de los datos*) se muestran las ventajas y desventajas de cada alternativa. De estas tres posibilidades la que mejor se acopla al diseño del sistema es *Java*, porque presenta un *API (JDBC)* que implementa la interconexión y el acceso a cualquier motor de base de datos de forma directa con un solo programa.

Por lo tanto *Java (JDBC)* se elige como el lenguaje de programación “Puente” entre el receptor y la base de datos en este proyecto.

2.1.8 Selección del motor de base de datos

La información enviada desde los contadores, a través de la red *GSM/GPRS* e Internet, llega a la *Etapa de recepción* y necesita ser almacenada, para una mejor organización y posterior análisis y facturación. En la selección del motor de base de datos a usar se analizan cuatro posibles alternativas: *MySQL* [8], *ORACLE*, *Microsoft Access 2000* y *PostgreSQL*. A continuación se muestra una figura de las diversas posibilidades.

Figura 15. Bases de datos



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas del modelo planteado.

Tabla 21. Bases de datos

	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gratuito, potente y fácil de usar. ✓ Interactúa fácilmente con la web. ✓ Rápido y estable. ✓ Interactúa con PHP. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ No es tan robusto comparado con otros motores de base de datos.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Potente, robusto, fiable y seguro. ✓ Alta calidad y versatilidad en aplicaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Es costoso.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil de usar. ✓ Capacidad de interactuar con SQL. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Baja capacidad. ✗ Usado en proyectos de baja complejidad y requerimientos.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estable y confiable. ✓ Es multiplataforma. ✓ Diseñada para ambientes de alto volumen. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Diseñado para funcionar optimamente en Linux.

Fuente: Autores

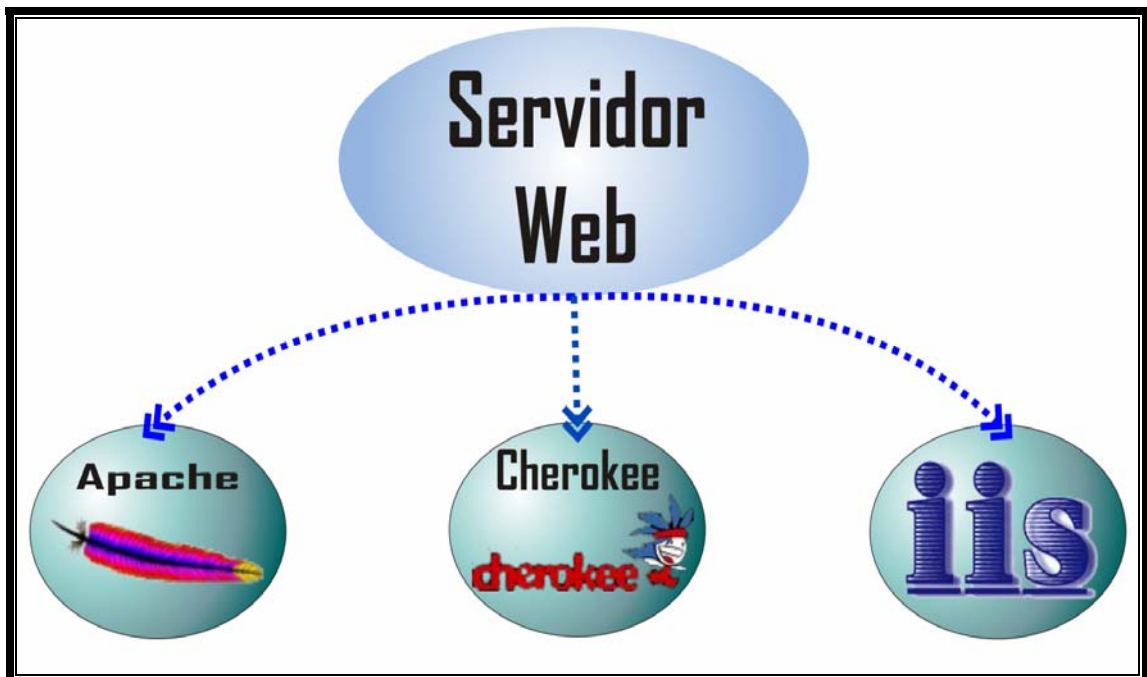
De las anteriores alternativas, se escoge *MySQL* como motor de base de datos, ya que este puede interactuar con Internet, es gratuito y fácil de usar, y aunque no es tan robusto como otros (*ORACLE*), cumple todos los requerimientos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Por lo tanto MySQL se elige como motor de la base de datos a usar en este proyecto.

2.1.9 Selección del servidor web

La información que se encuentra en la base de datos debe ser mostrada en Internet, en una página creada por la empresa para que todos sus usuarios puedan acceder a la misma y saber cuanto han consumido hasta la fecha. Es necesario entonces elegir un servidor web que preste este servicio, entre las alternativas a elegir están: **Apache**, **Cherokee** e **iis**.




Figura 16. Servidores web



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas de cada alternativa propuesta.

Tabla 22. Servidores web

	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gratuito, potente, seguro, flexible y estable. ✓ Más utilizado en el mundo. ✓ Existe documentación extensa sobre su uso y funcionamiento. 	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Libre, flexible y fácil de usar. ✓ Rápida actualización de los datos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Poco comercial. ✗ Poca documentación sobre su uso y funcionamiento.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil de instalar. ✓ Integración con el sistema de seguridad de Windows NT, y otros servicios. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Poco comercial. ✗ Poca documentación sobre su uso y funcionamiento.

Fuente: Autores

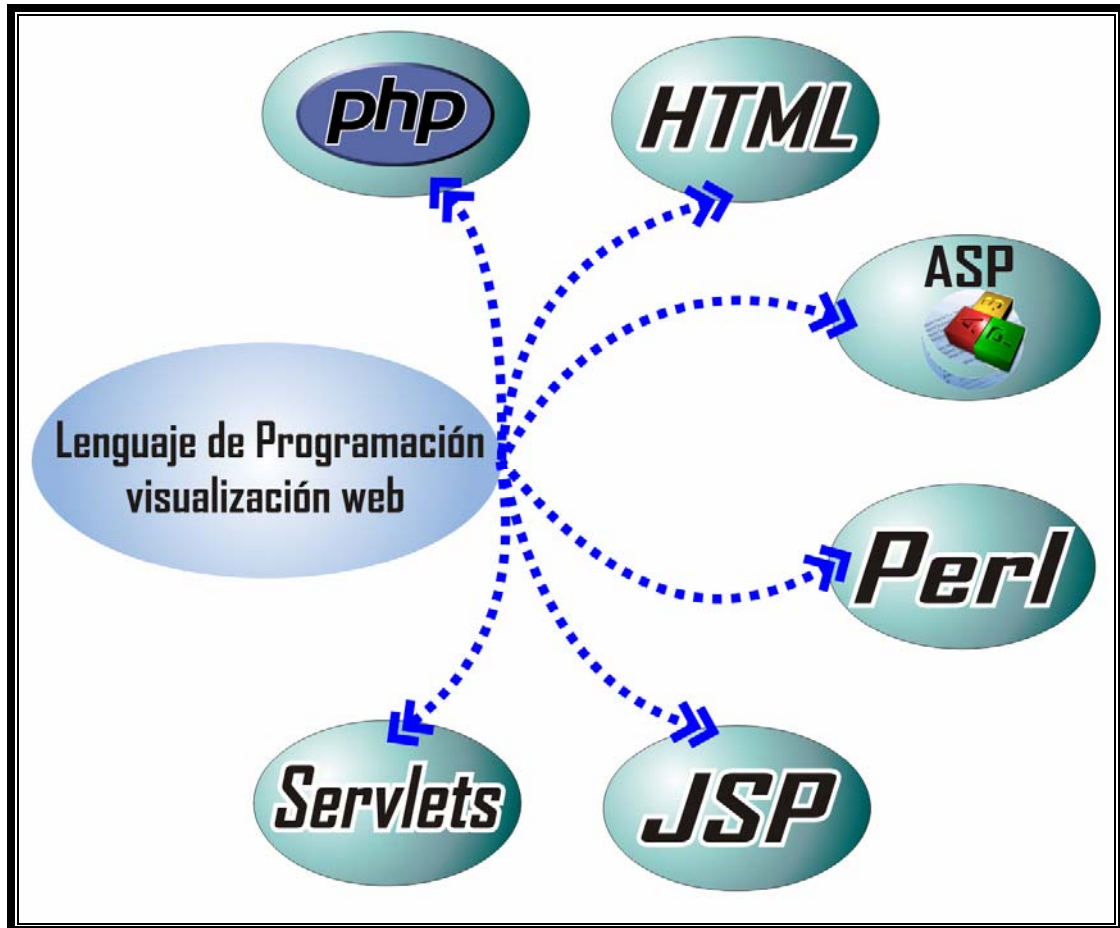
De las anteriores alternativas se escoge **“Apache”** como *servidor web*, porque es gratuito, seguro y se acopla a las aplicaciones de bases de datos que utilizan *MySQL*, y que interactúan con la web. Además es muy conocido comercialmente, por lo que en Internet se encuentra documentación que orienta sobre la forma correcta de implementarlo.

Por lo tanto Apache se elige como el servidor web de este proyecto.

2.1.10 Selección del lenguaje de programación para “visualización”

Para que los usuarios puedan acceder a la información de los consumos desde Internet, se hace necesario el uso de varios programas que cumplan esta función. En la selección del lenguaje de programación para “visualización” a usar se analizan seis posibles alternativas: **PHP [9], HTML [10], ASP, Perl, JSP y Servlets**. A continuación se muestra una figura con las diversas posibilidades.

Figura 17. Lenguajes de programación para la "visualización" en la web



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se describen algunas ventajas y desventajas de cada alternativa propuesta.

Tabla 23. Lenguajes de programación para la “visualización” en la web

	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil aprendizaje. ✓ Capacidad de interactuar con los servidores web más populares. ✓ Puede mezclarse con etiquetas HTML e interactuar con la web. ✓ Conexión a servidores de bases de datos como: MySQL, PostgreSQL, Oracle, ODBC, DB2, Microsoft SQL Server, Firebird y SQLite. ✓ Facilidad de desarrollo y rapidez en la implementación. ✓ Puede ser ejecutado en varios sistemas operativos, entre estos Windows y Linux. ✓ Software libre que puede descargarse de la red de Internet. 	
HTML	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lenguaje estándar a usar en Internet. ✓ Fácil de programar. ✓ Gratuito. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Necesita combinarse con otro lenguaje como PHP, para poder interactuar con la base de datos.
ASP 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguro y sencillo. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Sólo tiene soporte para servidores web de sistemas Microsoft: servidores iis y Personal Web Server
Perl	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se puede usar en múltiples plataformas y sistemas operativos. ✓ Gratuito. ✓ Puede crear aplicaciones CGI. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Utiliza muchos recursos del PC, y es lento para ciertas aplicaciones.
JSP	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es independiente del sistema operativo y del procesador de la máquina. ✓ Permite interactuar con Java. ✓ Capacidad de interactuar con los servidores web más populares. 	
Servlets	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es independiente del sistema operativo y del procesador de la máquina. ✓ Rápido, seguro, potente y eficiente. ✓ Gratuito. 	

Fuente: Autores

De las alternativas anteriores, se escogen dos lenguajes que interactúan entre sí. Estos lenguajes son:

- **PHP:** por que es gratis, comercial, fácil manejar, y trabaja adecuadamente con el servidor web *Apache* y el motor de bases de datos *MySQL* escogidos anteriormente. Además este puede interactuar con *HTML*, lo cual genera un entorno de desarrollo muy útil y versátil.
- **HTML:** por que es el lenguaje estándar, para programar páginas web, y puede interactuar fácilmente con *PHP*.

Por lo tanto PHP y HTML se eligen como los lenguajes de programación para la visualización de los datos en Internet.

2.2 ESTADO DE RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestran los resultados del análisis realizado para escoger las variables del proyecto. Cada variable puede ser aceptada o rechazada.

Tabla 24. Estado de resultados

Variable	Opciones	Resultado
Infraestructura de transmisión	Red de concentradores Wi-Fi con conexión inalámbrica a los hogares	✗
	Red de concentradores Wi-Fi con conexión cableada a los hogares	✗
	Handheld con conexión Bluetooth	✗
	Transmisor/Receptor en auto con tecnología Wi-Fi	✗
	Red híbrida Wi-Fi/GSM	✗
	Red GSM existente	✗
	Red GSM/GPRS existente	✓
Tecnologías inalámbricas	Wimax	✗
	Bluetooth	✗
	Zigbee	✗
	Wi-Fi	✗
	GSM	✗
	GPRS	✓
Modems	GM 47/48	✗
	GR 47/48	✗
	GM 28/29	✓
	GT 47/48	✗
	AC 45	✗
	MC 35i	✗
	MC 45	✗
	XT 55	✗

Variable	Opciones	Resultado
Lenguaje para el Modem	Comandos AT	✓
Hardware Receptor	PC	✓
Lenguaje de programación "Receptor" de los datos	Labview	✗
	C ++	✗
	Visual Basic	✗
	Java	✓
Lenguaje de programación "Puente"	C ++	✗
	Visual Basic	✗
	Java	✓
Motor de base de datos	MySQL	✓
	Oracle	✗
	Microsoft Access 2000	✗
	PostgreSQL	✗
Servidor Web	Apache	✓
	Cherokee	✗
	IIS	✗
Lenguaje de programación "visualización" de los datos en la web	PHP	✓
	HTML	✓
	ASP	✗
	Perl	✗
	JSP	✗
	Servlets	✗

Fuente: Autores

3 DISEÑO

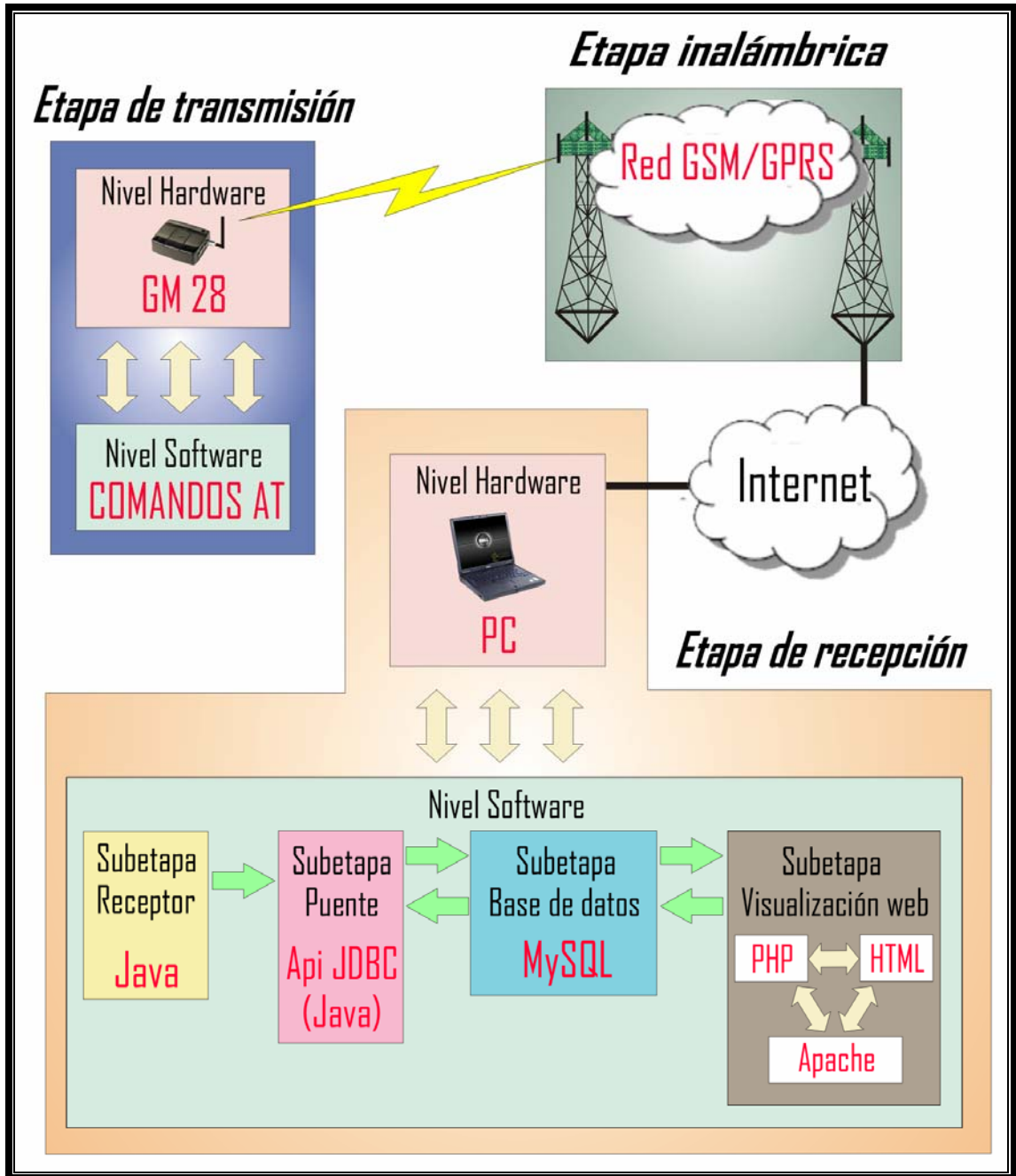
Este flujo de trabajo está concentrado en las fases de *Elaboración* y *Construcción* tal como se aprecia en la *Figura 1*. Se presenta la configuración final del sistema y las diferentes configuraciones en la que se puede realizar la transmisión de los datos.

3.1 ELABORACIÓN

Una vez se escogen las diversas variables que componen este proyecto, se realiza un “diseño final” y las formas como puede operar el mismo. En este se considera un solo dispositivo de transmisión (*Modem*), para disminuir la complejidad al analizar el funcionamiento del sistema.

El “diseño final” planteado es mostrado en la siguiente figura.

Figura 18. Diseño final del sistema de telemetría



Fuente: Autores

3.2 CONSTRUCCIÓN

El “**diseño final**” presenta dos variantes según la forma como son transmitidos los datos hasta la etapa de recepción:

- ✚ **Configuración 1: Modem activo (Modem-cliente y PC-servidor):** Es el *Modem* quien cada intervalo de tiempo (programado por el diseñador) envía peticiones a un *PC* ubicado en la *etapa de recepción*, usando la red *GSM/GPRS* e Internet, para establecer las conexiones necesarias que le permitan enviar los datos.
- ✚ **Configuración 2: Modem en modo espera (Modem-servidor y PC-cliente):** desde la *etapa de recepción* se envía a través de Internet y la red *GSM/GPRS* una petición de conexión con el *Modem*, el cual se halla en modo espera*, que le permita transmitir los datos.

La **Configuración 1 (Modem activo)** puede ser implementada sin dificultades, debido que el *PC* ubicado en la *etapa de recepción* funciona como un servidor que posee una dirección IP fija conocida por el *Modem (etapa de transmisión)*, logrando establecerse una comunicación entre ambas partes a través de la red *GSM/GPRS*.

La **Configuración 2 (Modem en modo espera)** presenta algunos inconvenientes para su implementación, debido a que la red *GSM/GPRS* asigna direcciones IP diferentes a un mismo *Modem* cada vez que este se conecta, no permitiéndole al *PC* de la *etapa de recepción* la ubicación del mismo, y por lo tanto la imposibilidad de establecer una comunicación para la transmisión de los datos.

Cabe destacar que lo expuesto anteriormente no implica que la configuración del **Modem en modo espera** no se pueda implementar, sino que para lograr su operación se debería: tener acceso al funcionamiento interno de la red *GSM/GPRS*, información que manejan las empresas prestadoras del servicio celular o hacer que el *Modem* esté siempre conectado para que su dirección IP no varíe.

La falta de acceso a la red interna *GSM/GPRS*, conduce a que se elija la **configuración 1 (Modem activo)** para la transmisión de los datos.

* Este modo le permite al Modem operar en bajo consumo de potencia, así como la posibilidad de estar desconectado de Internet, pero siempre alerta ante una posible petición de conexión con la red *GSM/GPRS*.

4 IMPLEMENTACIÓN

Este flujo de trabajo está concentrado en las fases de *Elaboración* y *Construcción* tal como se aprecia en la *Figura 1*. Se determinan los pasos necesarios para la elaboración de los diferentes diagramas de flujos, a ser implementados en el sistema, para cada etapa, subetapa y fases del mismo.

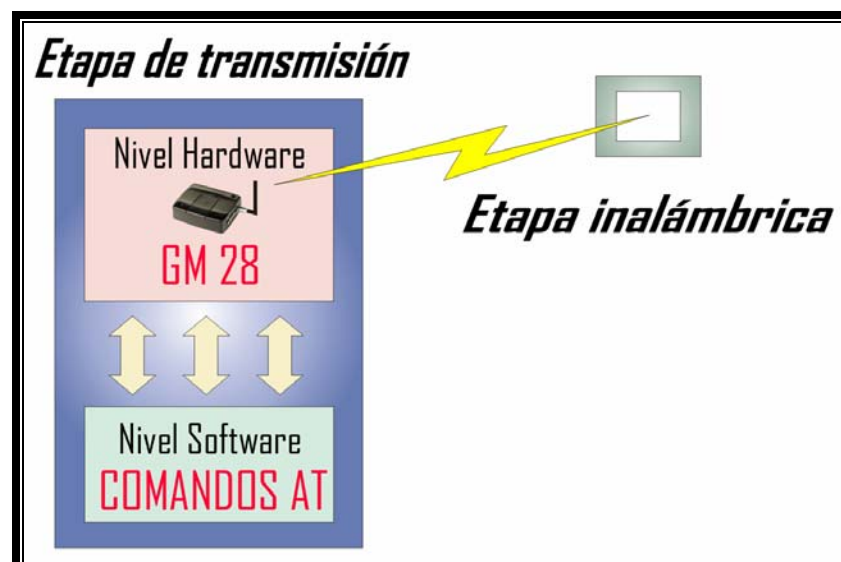
4.1 ELABORACIÓN

En esta fase de diseño se desarrolla una solución esquemática para cada etapa del "diseño final" con los respectivos diagramas de flujo.

4.1.1 Etapa de transmisión

La siguiente figura muestra la *etapa de transmisión*, en la cual el *Modem GM28* envía los datos a la *etapa inalámbrica*.

Figura 19. Implementación etapa de transmisión



Fuente: Autores

A continuación se muestran los pasos básicos para la elaboración del diagrama de flujo, el cual sirve como base en la programación del *Modem* a través de *COMANDOS AT*, y que permite realizar la transmisión de los datos desde el mismo hasta la red *GSM/GPRS* e Internet.

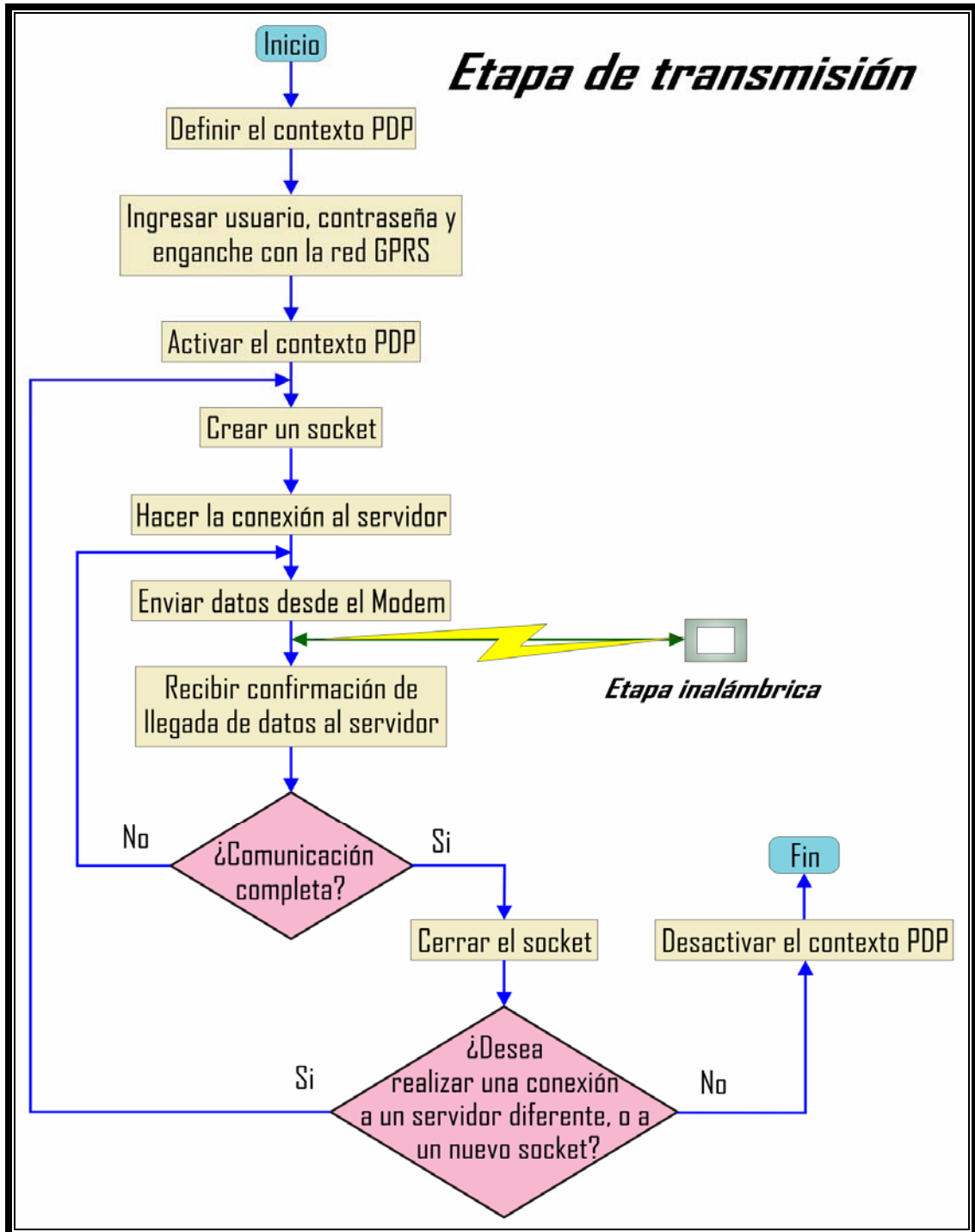
1. Definir un contexto para el *Protocolo de Paquetes de Datos (Packet Data Protocol, PDP)* apropiado con los datos que maneja el proveedor de servicios de la red *GSM/GPRS*. En este se definen características de la conexión como: *Nombre del Punto de Acceso (Access Point Name, APN)*, *Calidad del Servicio (Quality of service, QoS)*, y prioridad de radio entre otros.

El parámetro principal del contexto *PDP* es el *APN*, el cual especifica el punto de acceso a la red externa, así por ejemplo si se desea acceder a *Movistar* en Colombia se debe especificar el valor "*Internet.movistar.com.co*". *QoS* define los requerimientos de calidad, y puede ser configurada para que sea la operadora quien especifique el grado de servicio.

2. Ingresar el usuario y la contraseña, para acceder a la red *GSM/GPRS*.
3. Realizar el "enganche" con la operadora, que consiste en la conexión con algún nodo *SGSN* de la red *GSM/GPRS*.
4. Activar el contexto *PDP* (definido en el paso 1), y luego crear una tabla de "enrutado" en el nodo *GGSN* para los paquetes originados y terminados en el móvil, pudiendo entonces intercambiar tramas en formato *TCP/IP*.
5. Crear un *socket*, en el cual se especifique la dirección IP y el puerto del servidor al cual se envían los datos desde el *Modem*.
6. Realizar una conexión *TCP* con un servidor remoto
7. Enviar datos o estados de información desde el *Modem* hasta el servidor remoto.
8. Recibir los datos o el estado de la información en el servidor.
9. Repetir los pasos 7 y 8 mientras se realiza el envío de los datos requeridos.
10. Una vez todos los datos han sido enviados, cerrar el *socket*.
11. Repetir los pasos 5 a 10 para la comunicación con diferentes servidores o con nuevos *sockets*.
12. Desactivar el contexto *PDP*.

A continuación se muestra un diagrama de flujo para la *etapa de transmisión* del sistema.

Figura 20. Diagrama de flujo etapa de transmisión

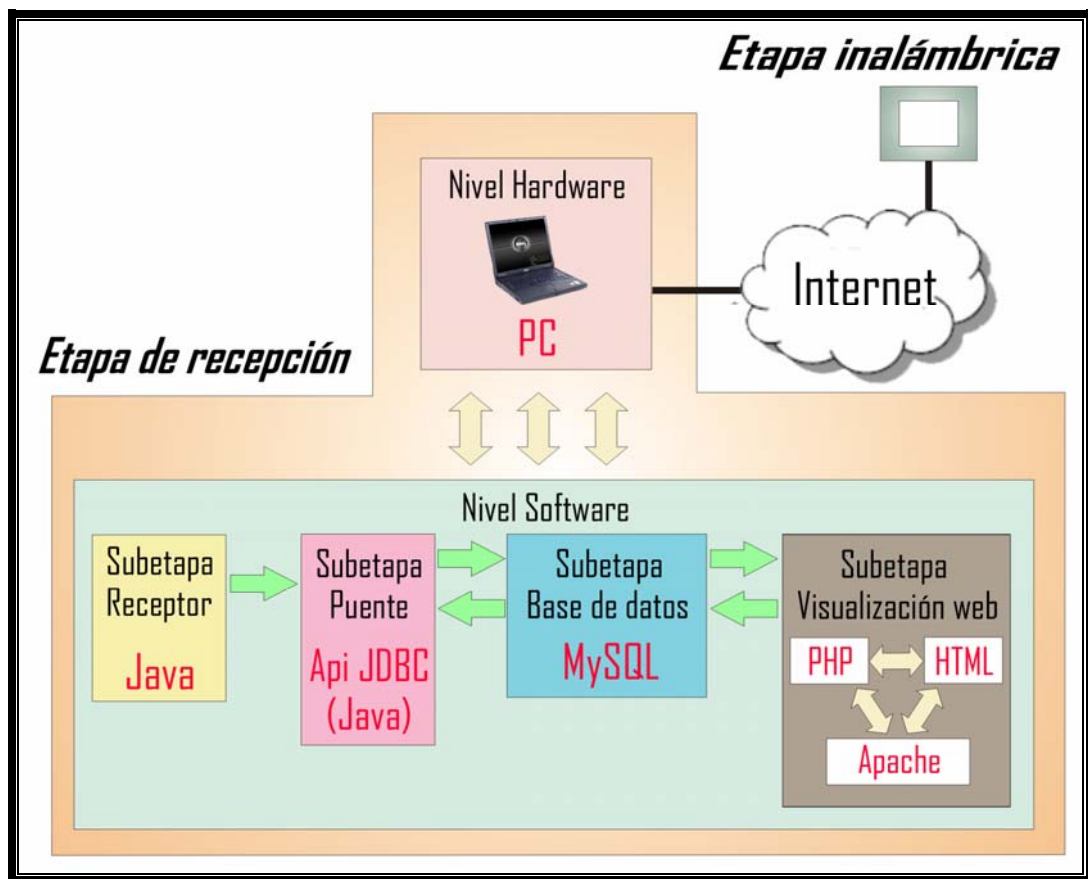


Fuente: Autores

4.1.2 Etapa de recepción

La siguiente figura muestra la *etapa de recepción*, en la cual se reciben los datos provenientes de la *etapa inalámbrica* en un *PC* ubicado en la estación central de información. Esta se divide a su vez en cuatro subetapas: *subetapa receptor*, *subetapa puente*, *subetapa base de datos*, y *subetapa visualización Web*.

Figura 21. Implementación etapa de recepción



Fuente: Autores

A continuación se muestran los pasos necesarios para la correcta programación de cada una de estas subetapas y sus respectivos diagramas de flujo.

A) Subetapa Receptor

Esta es la encargada de recibir los datos desde Internet y transferirlos a la *subetapa puente*, lo cual se puede lograr creando un *socket*, o programa, en *Java* que esté siempre atento ante la llegada de información desde la web.

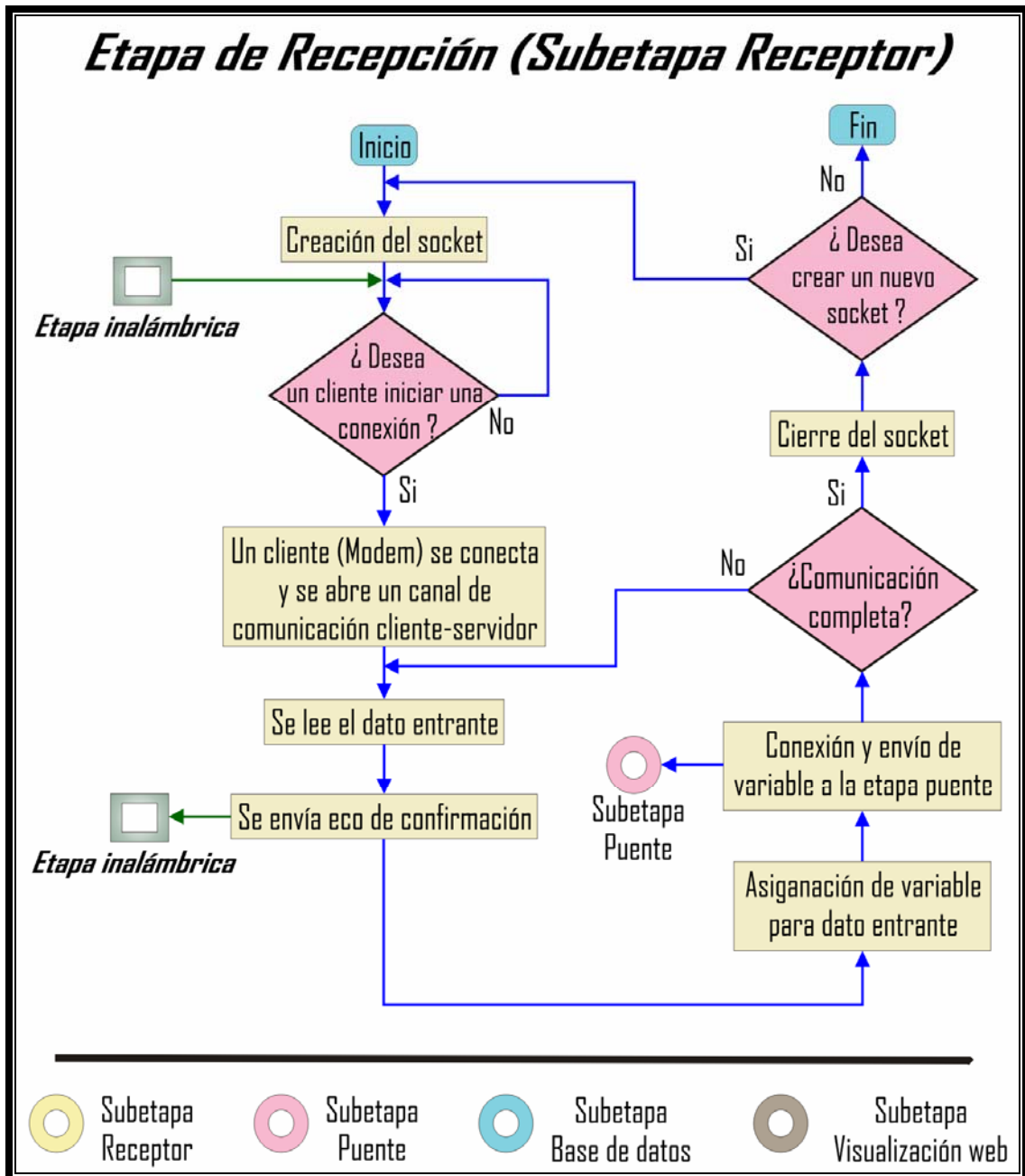
Los pasos básicos para crear este programa en el *PC* de la *etapa de recepción* son:

1. Crear un *socket*, en el cual se definan los puertos* a través de los cuales se espera sean recibidos los datos en el *PC*.
2. El *PC* (servidor) debe estar siempre "escuchando" por los puertos designados para la recepción de los datos, hasta que un *Modem* (cliente) se conecte con este.
3. Una vez el *Modem* se conecta se abre un canal de comunicación entre este y el *PC* de la etapa de recepción. Cabe aclarar que pueden haber varios clientes conectados al mismo servidor.
4. Se leen los datos provenientes desde el *Modem* (cliente).
5. Se envía al *Modem* (cliente) un eco de confirmación, como garantía que los datos han llegado correctamente al servidor.
6. Se asigna una variable a los datos recibidos.
7. Se realiza la conexión con la *subetapa puente*, a la cual se envían la información contenida en la variable.
8. Se cierra el *socket*.

A continuación se muestra un diagrama de flujo para la *subetapa receptor* del sistema.

* En este caso los *puertos* a los que se hace referencia son un número comprendido entre 1 y 65535, que usa el protocolo *TCP/IP* para realizar la transmisión de los datos por diversos "canales" y **no** dispositivos que se adhieren al *PC* de la etapa de recepción.

Figura 22. Diagrama de flujo subetapa receptor



Fuente: Autores

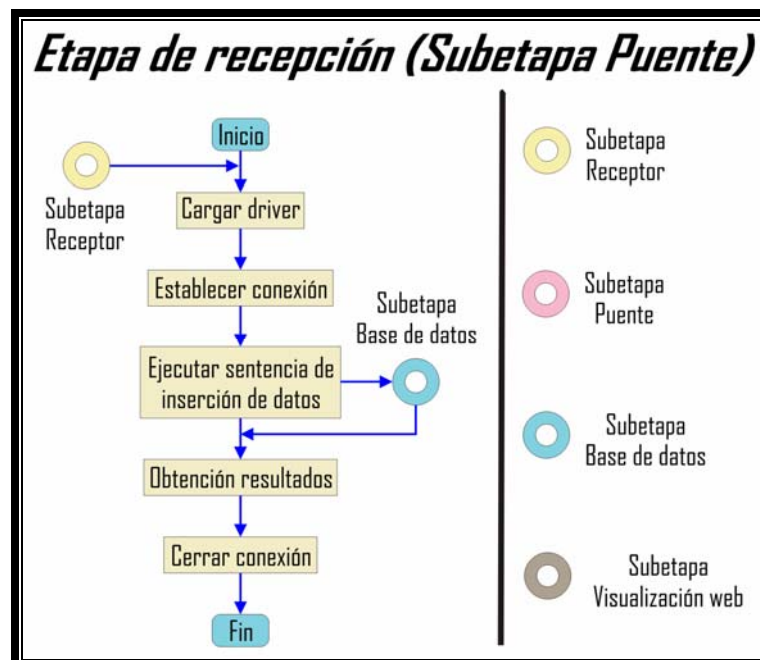
B) Subetapa Puente

Esta es la encargada de recibir los datos provenientes de la *subetapa receptor*, y adecuarlos para que puedan ser insertados en la *subetapa base de datos*. Los pasos básicos para realizar este proceso son los siguientes:

1. Cargar el controlador (*driver*) que permita transformar los datos que van llegando, a un formato capaz de ser manejado por la base de datos.
2. Establecer la conexión con la base de datos
3. Ejecutar las sentencias *SQL*, que permitan introducir los datos provenientes de la *subetapa receptor*, con su respectiva fecha y hora de inserción, así como la dirección IP del *Modem* que los envía.
4. Obtener los resultados de la actualización de la base de datos.
5. Cerrar la conexión.

A continuación se muestra un diagrama de flujo para la *subetapa puente* del sistema.

Figura 23. Diagrama de flujo subetapa puente



Fuente: Autores

C) Subetapa base de datos

Esta es la encargada de recibir los datos provenientes de la *subetapa puente* y convertirlos en una base de datos. La cual debe poseer los siguientes campos:

1. **id**: es un número entero que identifica a cada uno de los datos.
2. **host_remoto**: contiene el nombre del *host* remoto que envía los datos.
3. **ip_remota**: contiene la IP del *host* remoto que envía los datos.
4. **dato**: contiene el dato enviado desde el *Modem* (cliente).
5. **hora**: contiene la hora de llegada de los datos.
6. **fecha**: contiene la fecha de llegada de los datos.

El modelo esquemático de esta base de datos se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 25. Modelo esquemático de la base de datos

id	host_remoto	ip_remota	dato	hora	fecha
id ₁	host ₁	ip ₁	dato ₁	hora ₁	fecha ₁
id ₂	host ₂	ip ₂	dato ₂	hora ₂	fecha ₂
id ₃	host ₃	ip ₃	dato ₃	hora ₃	fecha ₃
.
.
.
id _n	host _n	ip _n	dato _n	hora _n	fecha _n

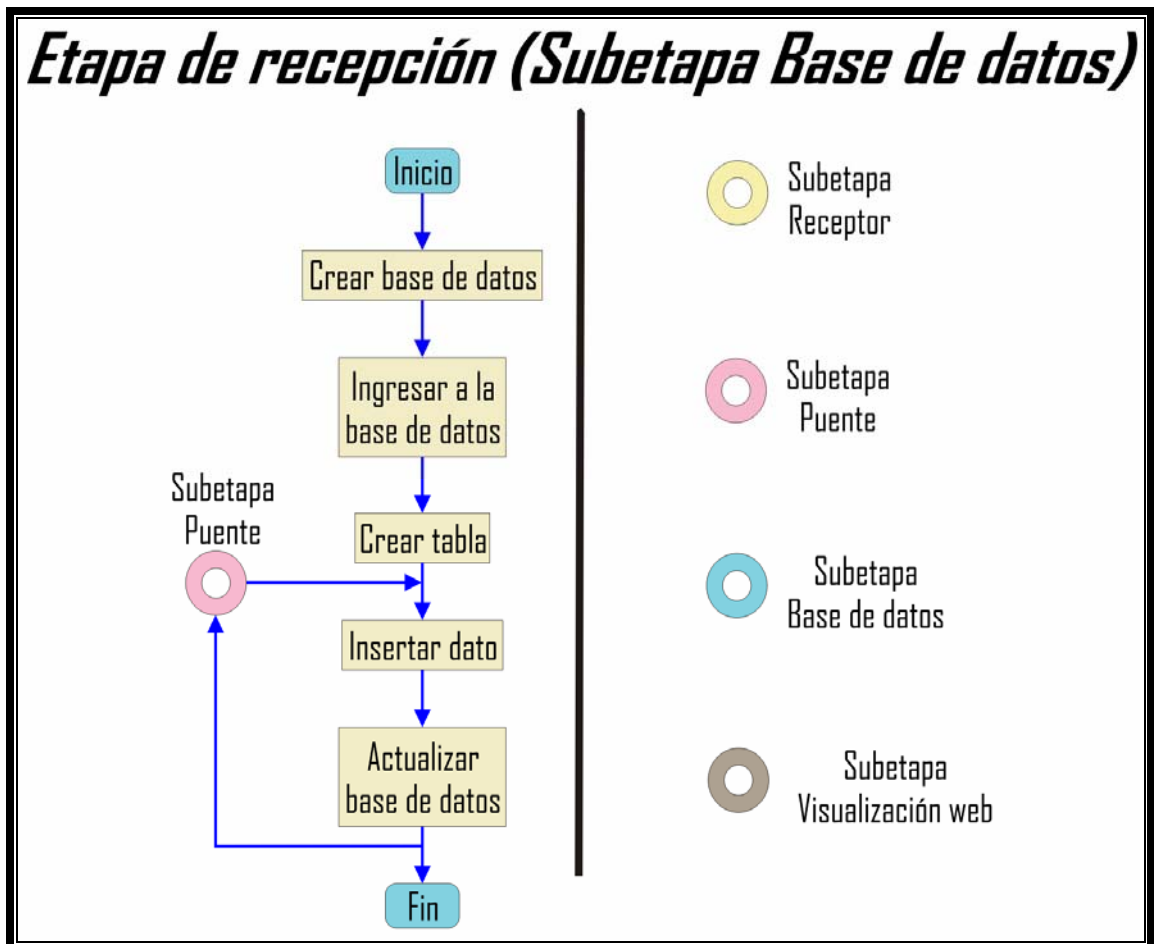
Fuente: Autores

Los pasos básicos para implementar la base de datos son los siguientes:

1. Crear la base de datos.
2. Ingresar a la base de datos creada para poder trabajar con la misma.
3. Crear la tabla con los campos: *id*, *host_remoto*, *ip_remota*, *dato*, *hora*, y *fecha*.
4. Insertar el dato que proviene de la *subetapa puente*.
5. Actualizar la base de datos.

A continuación se muestra un diagrama de flujo para la *subetapa base de datos* del sistema.

Figura 24. Diagrama de flujo subetapa base de datos



Fuente: Autores

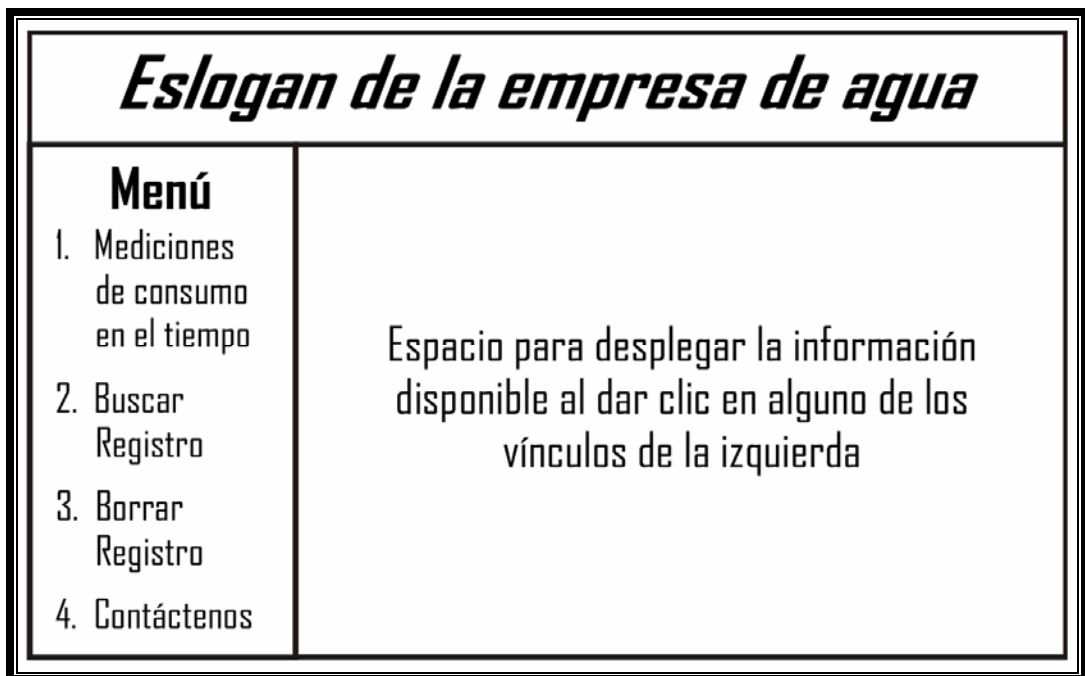
D) Subetapa visualización web

Esta es la encargada de tomar la información existente en la base de datos y mostrarla en forma de tabla sobre una página web, que pueda ser vista en cualquier lugar del mundo utilizando Internet.

Esta página además contiene vínculos que permitan buscar o borrar datos específicos, así como la posibilidad de que el cliente exprese sus dudas e inquietudes.

A continuación se puede apreciar la distribución espacial de la página web.

Figura 25. Distribución espacial de la página web



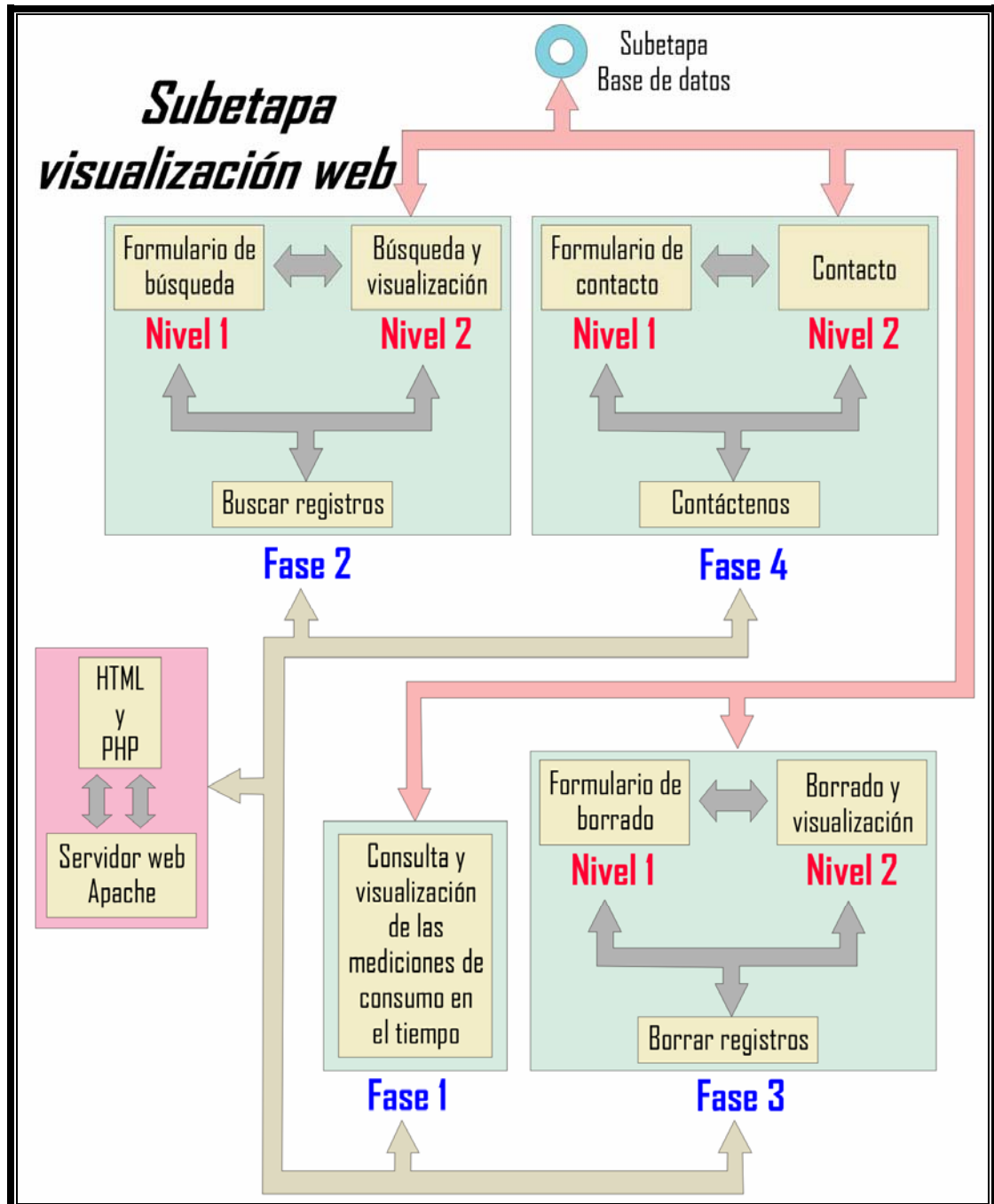
Fuente: Autores

La *subetapa visualización web* se divide a su vez en cuatro fases principales:

- ✦ **Fase 1:** Mediciones de consumo en el tiempo
- ✦ **Fase 2:** Buscar registros
- ✦ **Fase 3:** Borrar registros
- ✦ **Fase 4:** Contáctenos.

A continuación se muestra una figura con las fases de la *subetapa visualización web*.

Figura 26. Fases de la subetapa visualización web



Fuente: Autores

Fase 1: Consulta y visualización de las mediciones de consumo en el tiempo.

En esta se muestra sobre la página web, los datos enviados desde el *Modem* (cliente). La información es mostrada a manera de tabla, la cual contiene los siguientes campos:

1. **id**: número entero que identifica a cada uno de los datos
2. **host_remoto**: nombre del *host* remoto que envía los datos.
3. **ip_remota**: IP del *host* remoto que envía los datos.
4. **dato**: dato enviado desde el cliente (*Modem*).
5. **hora**: hora de llegada de los datos.
6. **fecha**: fecha de llegada de los datos.

La forma en que se visualiza la información en la página web una vez se da clic en el vínculo “1. Mediciones de consumo en el tiempo” puede ser observada en la siguiente figura.

Figura 27. Subetapa visualización web Fase 1 (Mediciones de consumo)

Eslogan de la empresa de agua

Menú

1. Mediciones de consumo en el tiempo
2. Buscar Registro
3. Borrar Registro
4. Contáctenos

Mediciones del consumo de agua

id	host_remoto	ip_remota	dato	hora	fecha
id ₁	host ₁	ip ₁	dato ₁	hora ₁	fecha ₁
id ₂	host ₂	ip ₂	dato ₂	hora ₂	fecha ₂
id ₃	host ₃	ip ₃	dato ₃	hora ₃	fecha ₃
.
.
.
id _n	host _n	ip _n	dato _n	hora _n	fecha _n

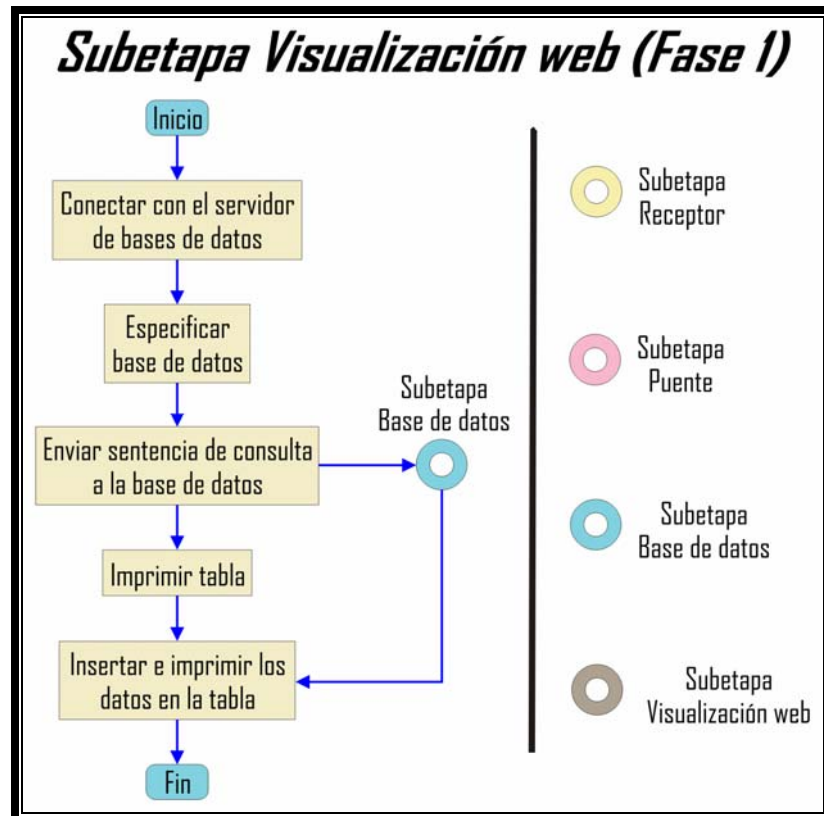
Fuente: Autores

Los pasos necesarios para realizar una búsqueda y mostrar sus respectivos resultados, son los siguientes:

1. Conectarse al servidor de bases de datos especificando el *host*, usuario y la contraseña de acceso.
2. Especificar la base de datos a la cual se desea conectar.
3. Enviar una sentencia *SQL* al servidor de bases de datos, que realice una consulta a la tabla que contiene la información de las mediciones.
4. Mostrar la tabla con los campos específicos.
5. Insertar cada dato dentro de la tabla a mostrar.

A continuación se muestra un diagrama de flujo para la *subetapa de visualización web* fase 1 (consulta y visualización de las mediciones de consumo).

Figura 28. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 1



Fuente: Autores

Fase 2: Buscar registros.

En esta el usuario puede realizar la búsqueda de algún registro (dato de consumo) de su interés. Esta fase a su vez se divide en dos niveles: *Nivel 1: formulario de búsqueda* y *nivel 2: búsqueda y visualización*.

Nivel 1: formulario de búsqueda. Este le solicita al usuario introducir el *id* del registro a buscar, el cual es necesario para realizar la búsqueda del mismo en la base de datos. La forma en que se visualiza la información en la página web una vez se da clic en el vínculo *"2. Buscar registro"* puede ser observada en la siguiente figura.

Figura 29. Subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 1: formulario de búsqueda)

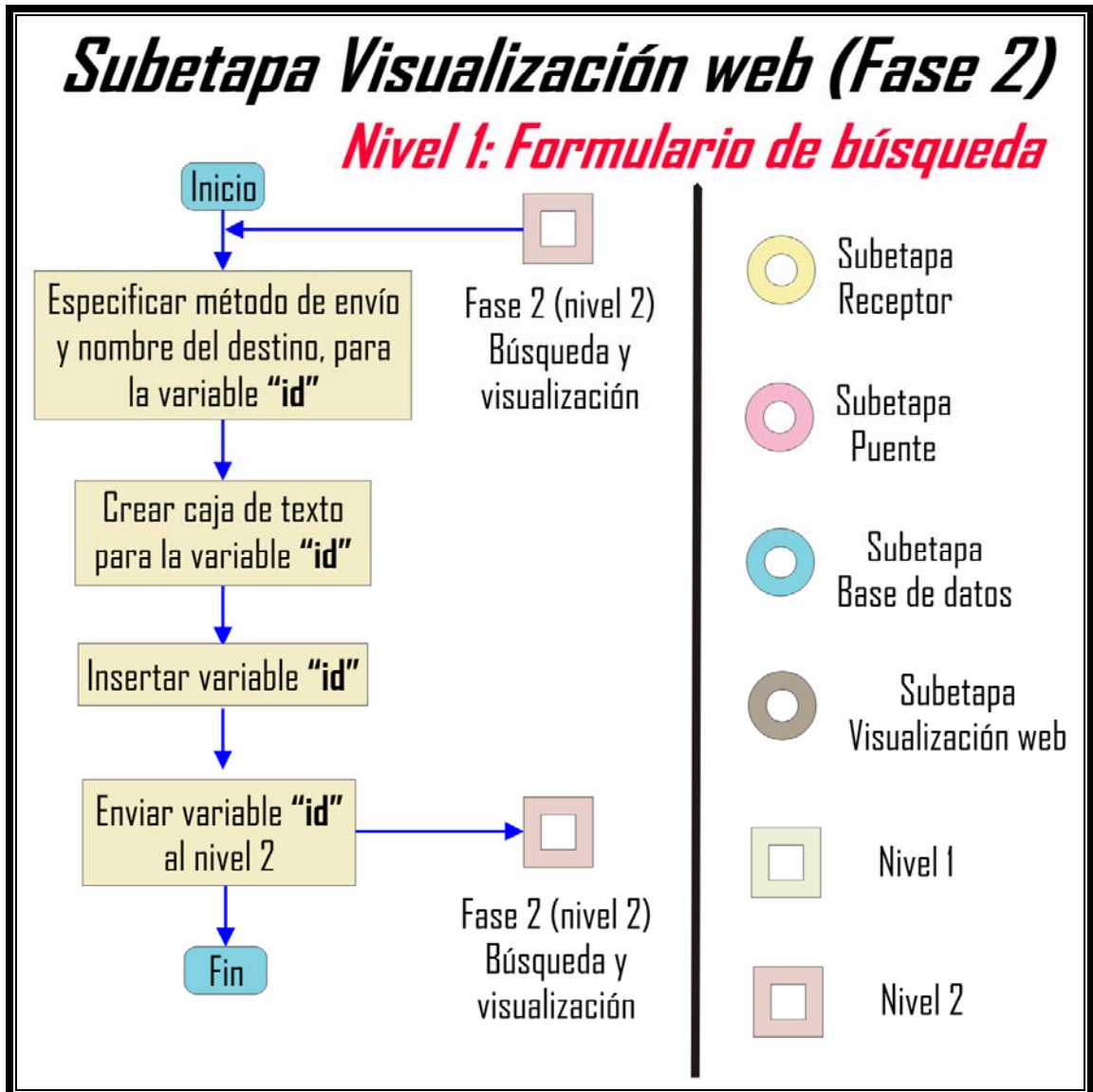
Fuente: Autores

Los pasos básicos para realizar el formulario de búsqueda son:

1. Especificar el método de envío de la variable *"id"*, y el nombre del algoritmo al cual será enviada esta (*nivel 2: búsqueda y visualización*).
2. Crear una caja de texto, en la que el usuario pueda insertar el valor de la variable *"id"*.
3. Enviar la variable *"id"* al *nivel 2: búsqueda y visualización*.

Un diagrama de flujo que implementa los pasos anteriores se muestra en la siguiente figura.

Figura 30. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 1)

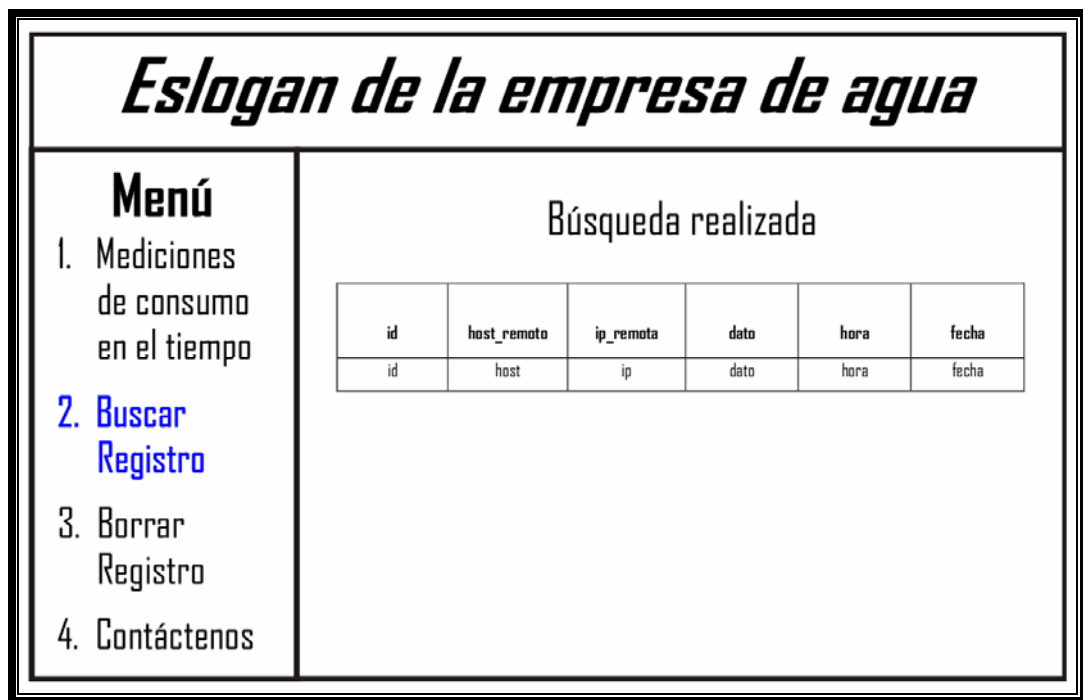


Fuente: Autores

Nivel 2: búsqueda y visualización. Los resultados de la búsqueda de un registro son mostrados en la parte central de la página web, una vez se da clic en el botón “*Buscar*” del formulario de búsqueda y luego de haber sido insertado el “*id*”.

En la siguiente figura se muestra como son desplegados los resultados de la búsqueda en la página web.

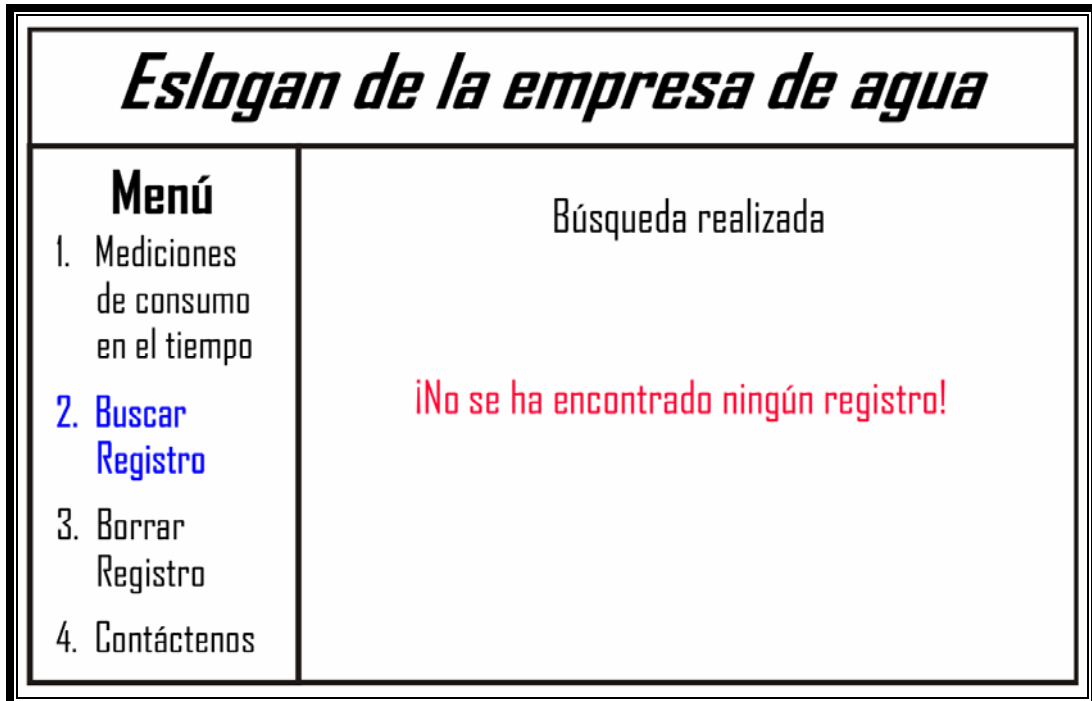
Figura 31. Subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 2) con respuesta



Fuente: Autores

Cuando el “*id*” buscado **NO** existe en la base de datos, el resultado de esta búsqueda arroja el mensaje *iNo se ha encontrado ningún registro!*, tal como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 32. Subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 2) sin respuesta



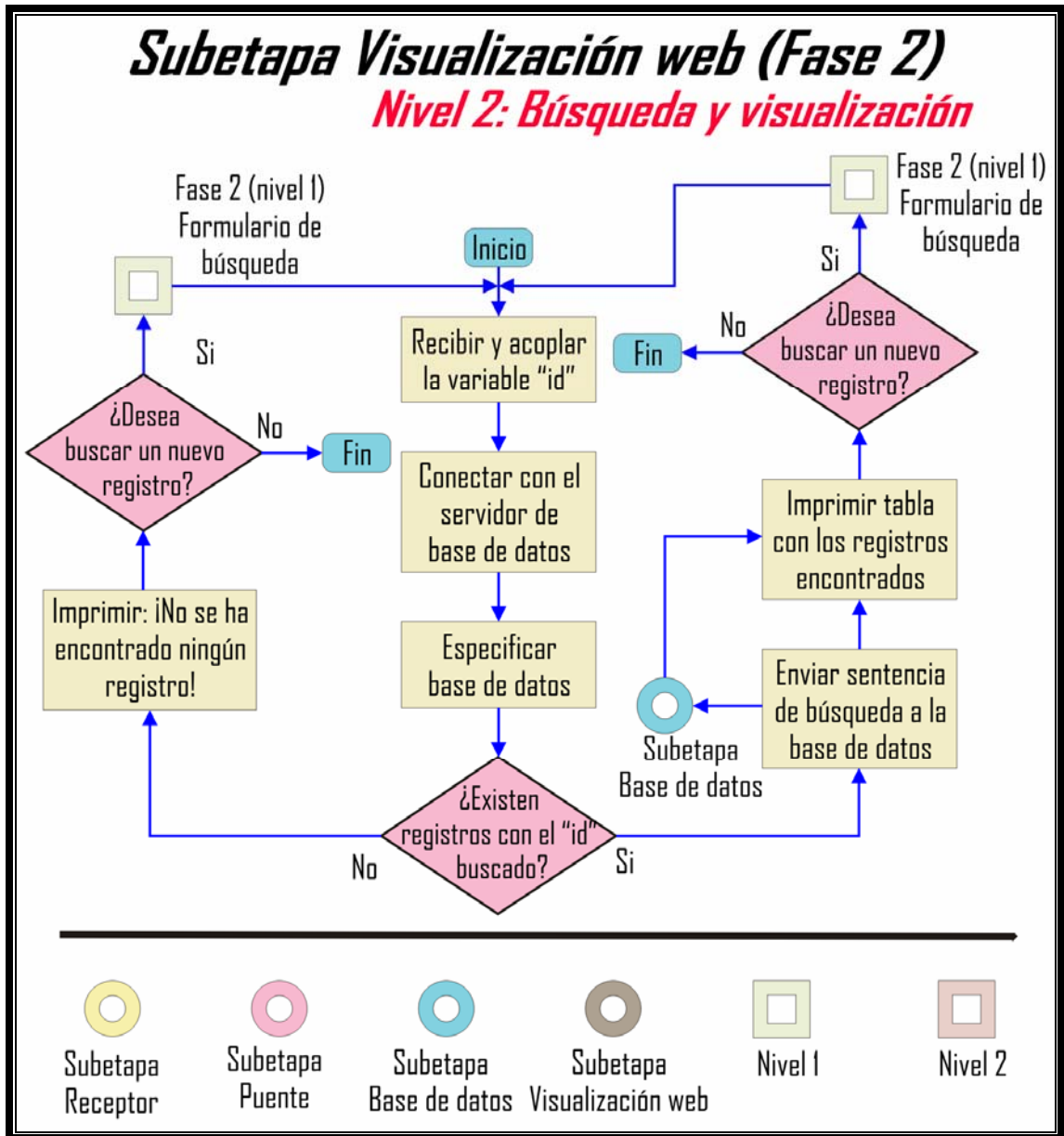
Fuente: Autores

Los pasos básicos para implementar la búsqueda de un registro son los siguientes:

1. Recibir y acoplar la variable *"id"* al *nivel 2: búsqueda y visualización*.
2. Conectarse al servidor de bases de datos especificando el *host*, *usuario* y la *contraseña* de acceso.
3. Especificar la base de datos a la cual se desea conectar.
4. Enviar una sentencia *SQL* al servidor de bases de datos, que realice una búsqueda del registro dentro de la tabla que contiene las mediciones.
5. Si se han encontrado registros con el *"id"* en proceso, realizar el paso 6, sino saltar al paso 7.
6. Imprimir la tabla con los registros encontrados y saltar al paso 8.
7. imprimir: *¡No se ha encontrado ningún registro!* Y saltar al paso 8.
8. Si se desea realizar una nueva búsqueda, ir al *nivel 1: formulario de búsqueda*, sino finalizar el proceso.

Un diagrama de flujo que implementa los pasos anteriores se muestra en la siguiente figura.

Figura 33. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 2 (Nivel 2)



Fuente: Autores

Fase 3. Borrar registros.

En esta el usuario puede realizar el “borrado” de algún registro (dato de consumo) que requiera. Esta fase a su vez se divide en dos niveles: **Nivel 1: formulario de borrado** y **nivel 2: borrado y visualización**.

Nivel 1: formulario de borrado. Este le solicita al usuario introducir el *id* del registro a borrar, el cual es necesario para realizar la búsqueda y borrado del mismo en la base de datos. La forma en que se visualiza la información en la página web una vez se da clic en el vínculo “3. Borrar registro” puede ser observada en la siguiente figura.

Figura 34. Subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 1: formulario de borrado)

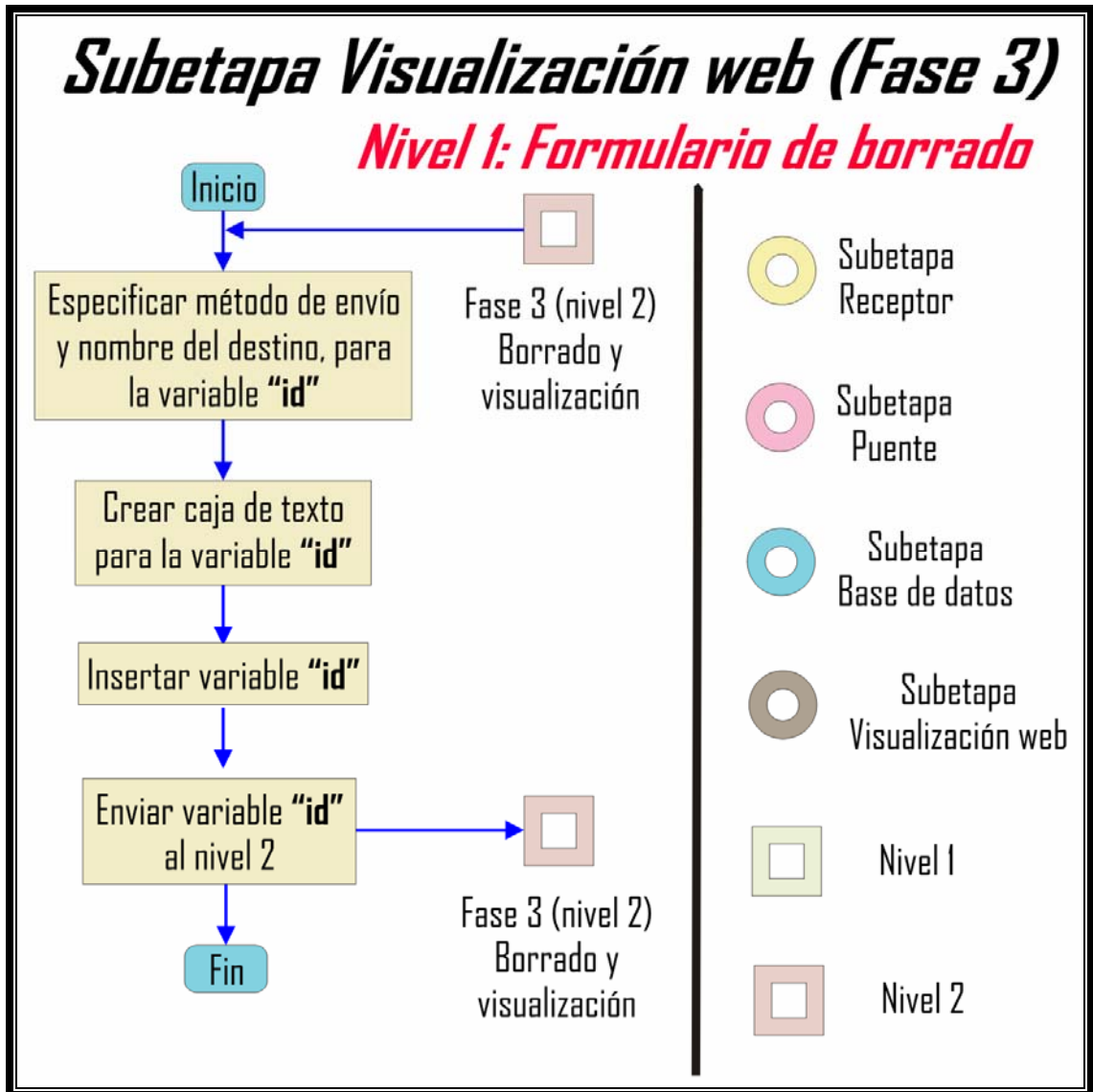
Fuente: Autores

Los pasos básicos para realizar el formulario de borrado son:

1. Especificar el método de envío de la variable “*id*”, y el nombre del algoritmo al cual será enviada esta (*nivel 2: borrado y visualización*).
2. Crear una caja de texto, en la que el usuario pueda insertar el valor de la variable “*id*”.
3. Enviar la variable “*id*” al *nivel 2: borrado y visualización*.

Un diagrama de flujo que implementa los pasos anteriores se muestra en la siguiente figura.

Figura 35. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 1)



Fuente: Autores

Nivel 2: Borrado y visualización. Los resultados del borrado de un registro son mostrados en la parte central de la página web, una vez se da clic en el botón “Borrar” del formulario de borrado y luego de haber sido insertado el “id”.

En la siguiente figura se muestra como son desplegados los resultados luego de haber borrado algún registro de la tabla.

Figura 36. Subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 2) con respuesta

Eslogan de la empresa de agua

Menú

1. Mediciones de consumo en el tiempo
2. Buscar Registro
3. Borrar Registro
4. Contáctenos

Registro borrado

El registro con id="id" fue borrado de la tabla

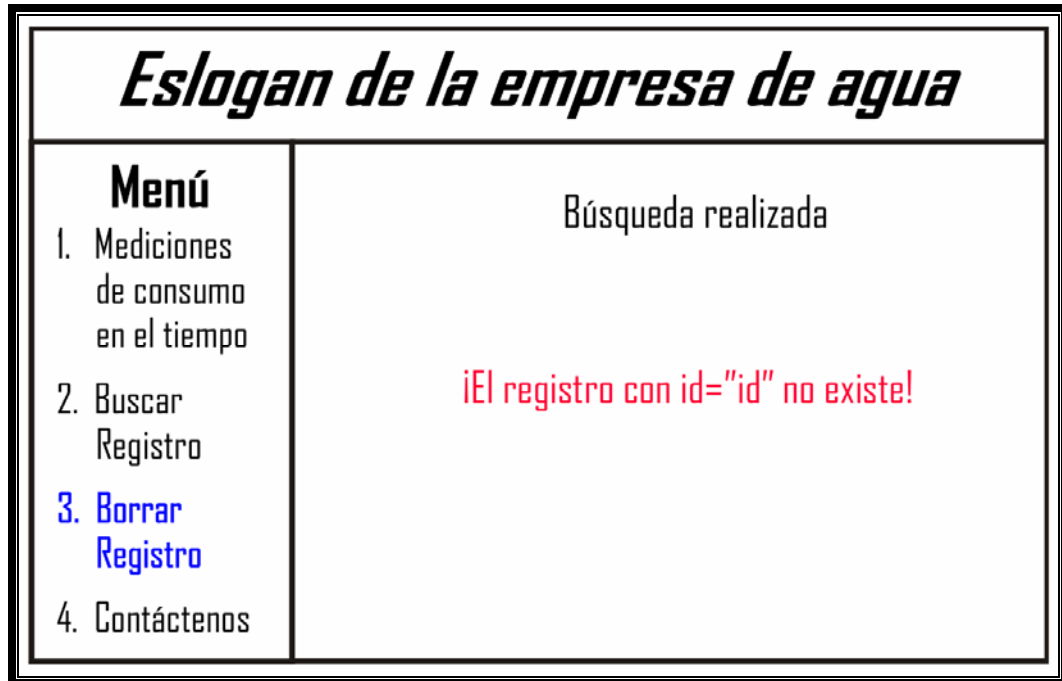
id	host_remoto	ip_remota	dato	hora	fecha
id ₁	host ₁	ip ₁	dato ₁	hora ₁	fecha ₁
id ₂	host ₂	ip ₂	dato ₂	hora ₂	fecha ₂
id ₃	host ₃	ip ₃	dato ₃	hora ₃	fecha ₃
.
.
id _n	host _n	ip _n	dato _n	hora _n	fecha _n

Fuente: Autores

En la tabla de la figura anterior se muestran todos los registros almacenados, menos el que fue borrado.

Cuando el “id” buscado **NO** existe en la base de datos, el resultado de esta búsqueda arroja el mensaje *¡El registro con id="id" no existe!*, tal como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 37. Subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 2) sin respuesta



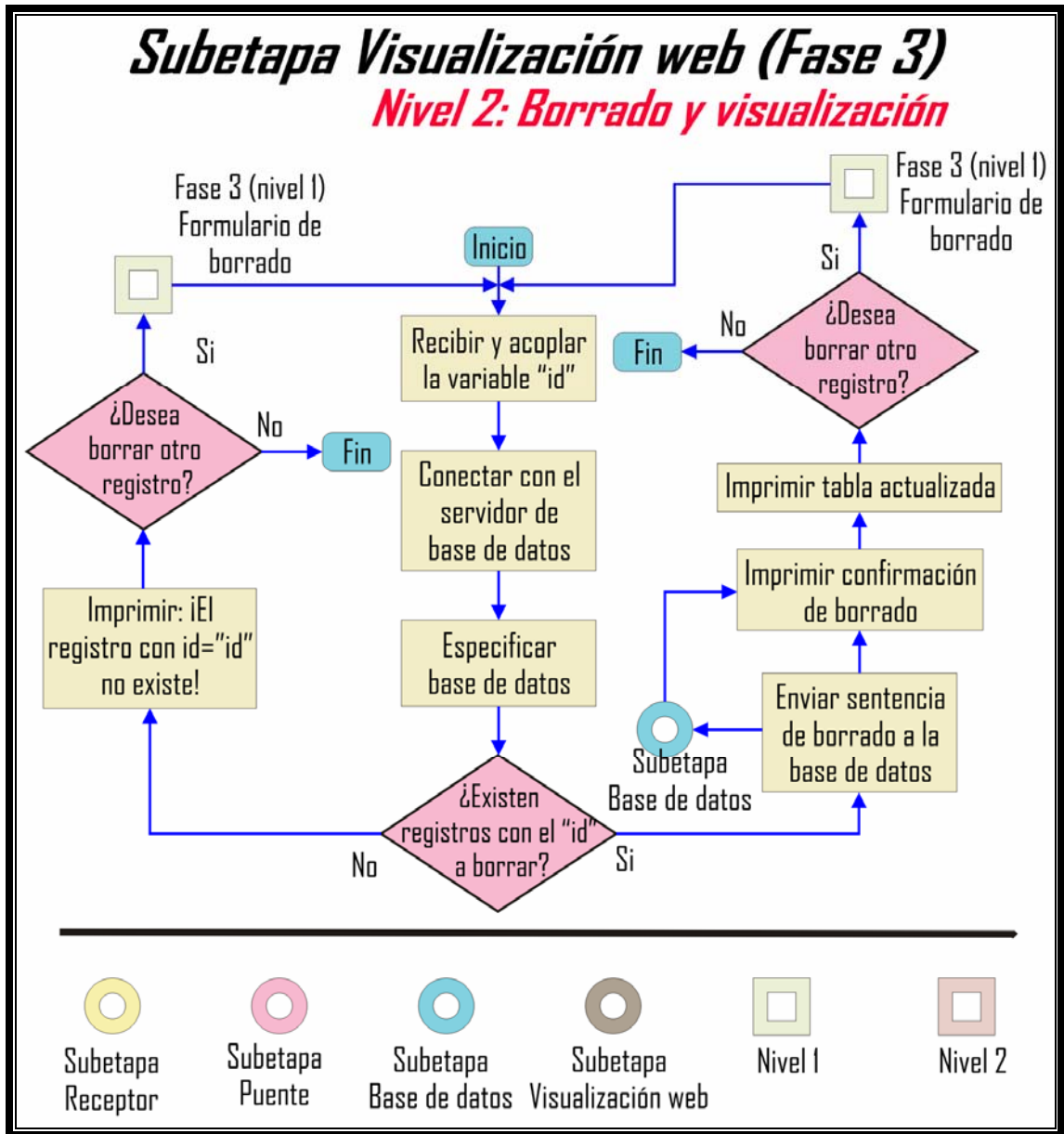
Fuente: Autores

Los pasos básicos para realizar el borrado de un registro son los siguientes:

1. Recibir y acoplar la variable *"id"* al *nivel 2: borrado y visualización*.
2. Conectarse al el servidor de bases de datos especificando *host*, *usuario* y la *contraseña* de acceso.
3. Especificar la base de datos a la cual se desea conectar.
4. Enviar una sentencia *SQL* al servidor de bases de datos, que realice el borrado del registro dentro de la tabla que contiene las mediciones.
5. Si se han borrado registros con el *"id"* en proceso, realizar el paso 6 y 7, sino saltar al paso 8.
6. Imprimir la confirmación del registro borrado.
7. Imprimir la tabla actualizada sin el registro borrado y saltar al paso 9.
8. imprimir: *¡El registro con id= "id" no existe!* y saltar al paso 9.
9. Si se desea realizar una nueva búsqueda, ir al *nivel 1: formulario de borrado*, sino finalizar el proceso.

Un diagrama de flujo que implementa los pasos anteriores se muestra en la siguiente figura.

Figura 38. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 3 (Nivel 2)



Fuente: Autores

Fase 4. Contáctenos.

A través de este vínculo el usuario puede expresar sus dudas, inquietudes o sugerencias y esperar las respuestas de las mismas en su correo electrónico. Esta fase a su vez se divide en dos niveles: *nivel 1: formulario de contacto* y *nivel 2: contacto*.

Nivel 1: formulario de contacto. Este debe contar con los siguientes campos:

1. **Asunto:** título que resume el contenido del mensaje.
2. **Mensaje:** es la inquietud, duda o sugerencia del usuario.
3. **Email:** dirección de correo electrónico del usuario al cual llegan las respuestas.

La forma en que se visualiza la información en la página web una vez se da clic en el vínculo “4. Contáctenos” puede ser observada en la siguiente figura.

Figura 39. Subetapa visualización web Fase 4 (Nivel 1)

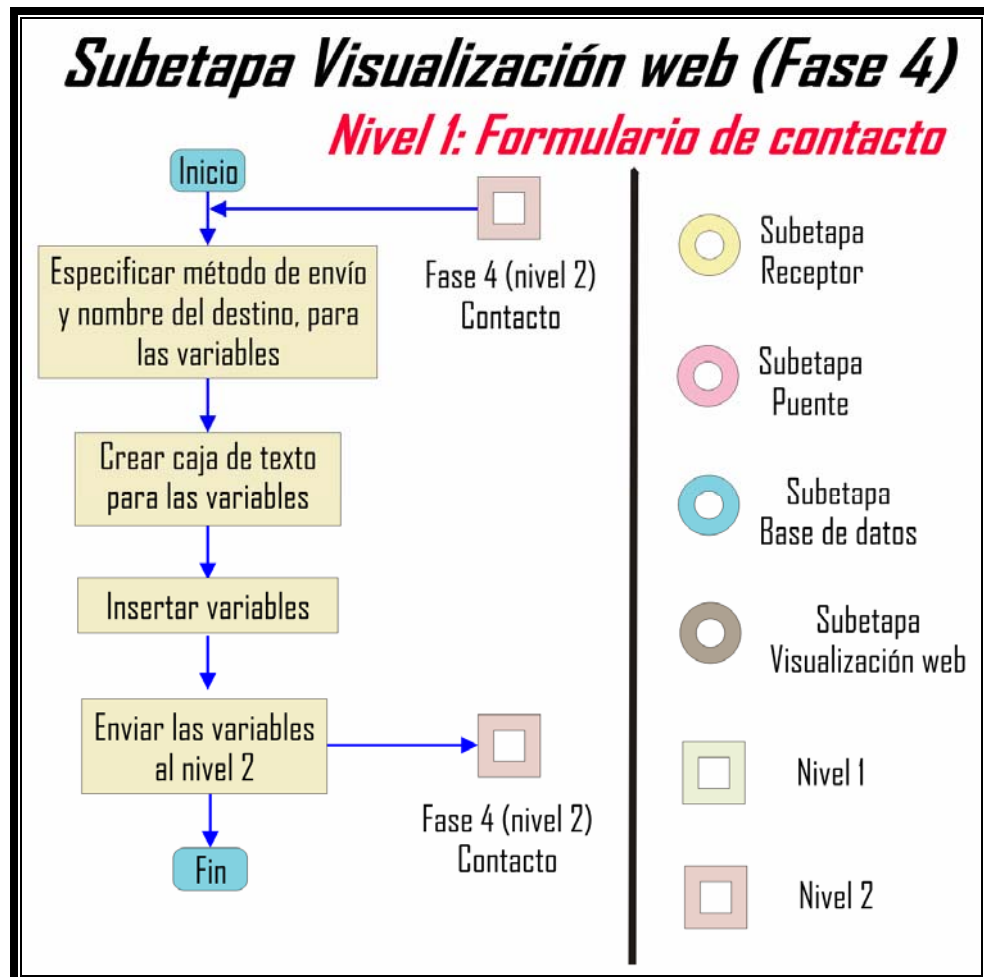
Fuente: Autores

Los pasos básicos para realizar el formulario de contacto son:

1. Especificar el método de envío de las variables que son recogidas, y el nombre del algoritmo al cual serán enviados estos datos (*nivel 2: contacto*).
2. Crear las cajas de texto, en las cuales el usuario pueda expresar sus dudas, inquietudes o sugerencias.
3. Enviar las variables al *nivel 2: contacto*.

Un diagrama de flujo que implementa los pasos anteriores se muestra en la siguiente figura:

Figura 40. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 4 (Nivel 1)



Fuente: Autores

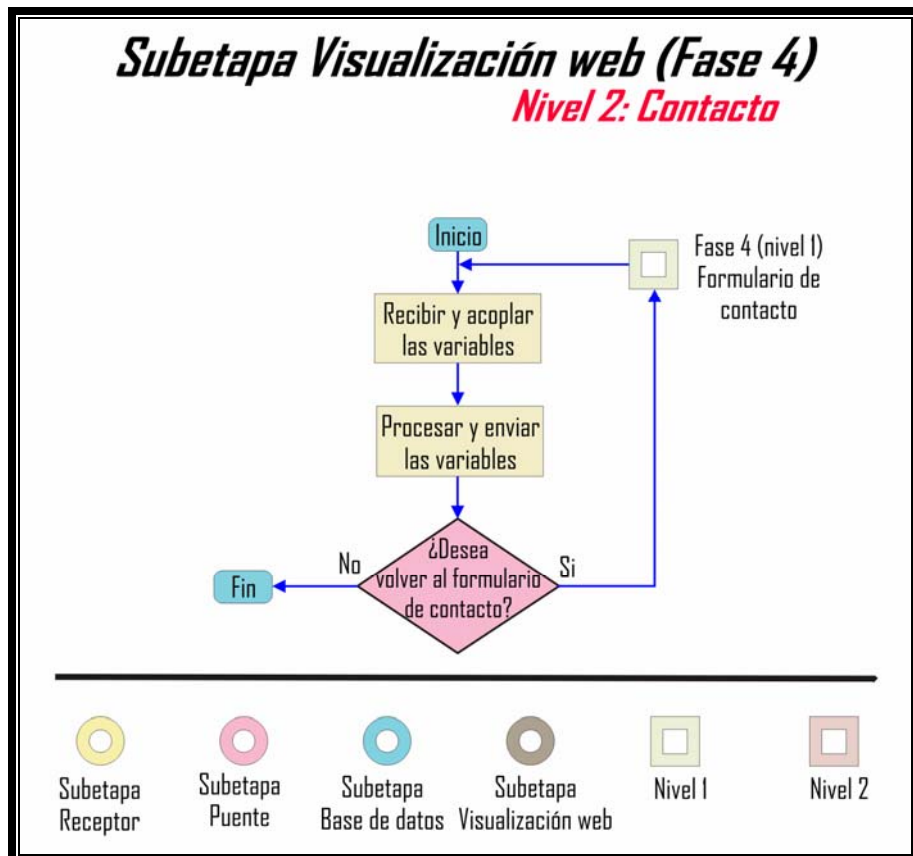
Nivel 2: Contacto. Se realiza el almacenamiento de las variables generadas por el usuario en el formulario de contacto, para su posterior respuesta.

Los pasos básicos para realizar el envío de peticiones del usuario son los siguientes:

1. Recibir y acoplar la variable "id" al *nivel 2: contacto*.
2. Procesar y enviar las variables censadas a su destino.
3. Para volver al formulario de contacto, ir al paso 4, sino saltar al paso 5.
4. Ir al *nivel 1: Formulario de contacto*.
5. Finalizar proceso.

Un diagrama de flujo que implementa los pasos anteriores se muestra en la siguiente figura.

Figura 41. Diagrama de flujo subetapa visualización web Fase 4 (Nivel 2)



Fuente: Autores

4.2 CONSTRUCCIÓN

La creación e implementación de los diversos diagramas de flujo en los equipos para las etapas, subetapas, fases y niveles del sistema es un proceso realizado a lo largo del tiempo, que se actualiza y mejora gradualmente.

La siguiente tabla presenta cada etapa y subetapa de diseño, con sus actualizaciones, mejoras y observaciones, así como la fecha de elaboración de cada actividad.

Tabla 26. Implementación (Fase construcción)

Etapa en construcción	Fecha d-m-a	Actualizaciones	Mejoras y observaciones
Etapa de transmisión	15-06-06	Se implementan los "Comandos AT" en el Modem que le permiten conectarse con la red GSM/GPRS de Movistar-Colombia	A través de los "comandos AT" es posible programar los protocolos y velocidades de transmisión, y la calidad en la transmisión.
	28-06-06	El Modem es programado como cliente, y puede enviar peticiones a un servidor web en Internet. Se usa el puerto 80 del servidor para realizar la conexión.	Se observa que con puertos diferentes del 80, no se establece conexión alguna. Esto porque la mayoría de servidores web usan este puerto como estándar, y el resto están desactivados o inhabilitados.
Etapa de recepción (subetapa receptor)	22-07-06	Se programa un socket en el PC utilizando la plataforma de Java, que "escucha" continuamente las peticiones del cliente (Modem), sobre el puerto 10011 del servidor.	Se crea un socket en el servidor que utiliza un puerto diferente al 80 para la conexión, y además este puerto puede ser cualquier número entre 1 y 65535. En este caso se tomó el puerto 10011.
Etapa de transmisión	28-07-06	Se programa el Modem otra vez como cliente, el cual puede enviar peticiones a un servidor web en Internet, pero ahora la conexión se establece a través del puerto 10011. Y ya se pueden transferir datos por el canal creado.	Para realizar la comunicación correctamente se debe ejecutar primero el programa que implementa el socket en el servidor, y luego se corre el programa que implementa el Modem. Los datos pueden ser vistos a medida que llegan pero aún no se almacenan.
Etapa de recepción (subetapa base de datos)	15-08-06	Se crea una base de datos en el motor de bases de datos MySQL utilizando lenguaje SQL.	En la base de datos se almacenan los datos que van llegando de las mediciones de los contadores de agua.

Etapa en construcción	Fecha d-m-a	Actualizaciones	Mejoras y observaciones
Etapa de recepción (subetapa puente)	30-08-06	Se crea un programa utilizando el API JDBC de Java, para transferir los datos que van llegando hacia la base de datos.	El programa que utiliza el API JDBC es el "puente" entre el receptor y la base de datos.
Etapa de recepción (subetapa receptor)	11-09-06	Se mejora el programa que implementa el socket en el servidor, de tal forma que el dato entrante se almacena en una variable.	Ahora los datos que van llegando pueden ser almacenados en la base de datos.
Etapa de recepción (subetapa base de datos)	20-09-06	Se agregan varios campos a la base de datos, con el propósito de tener mejor definida la información.	Los campos agregados a la base de datos son: hora de llegada, fecha de llegada y dirección IP del Modem que envía los datos
Etapa de recepción (subetapa visualización web)	26-09-06	Se crea la página web utilizando el lenguaje HTML, esta presenta varios vínculos que interactúan con la base de datos.	Los vínculos creados en la página web son: 1 Mediciones de consumo 2 Buscar registro 3 Borrar registro 4 Contáctenos
	29-09-06	Se crea un script en lenguaje PHP, que permita realizar una consulta de las mediciones del consumo, al hacer clic sobre el vínculo "mediciones de consumo en el tiempo"	Al dar clic en el vínculo de "mediciones de consumo en el tiempo", la consulta es visualizada en la página web, mostrando una tabla que contiene las mediciones de los contadores de agua, con la fecha y hora de la llegada de los datos y la dirección IP del Modem envió
	03-12-06	Se crea un script en lenguaje PHP, para realizar una búsqueda de un registro específico dentro de la base de datos, al hacer clic sobre el vínculo "Buscar registro".	Al dar clic en el vínculo "Buscar registro" se muestra un formulario de búsqueda, en el cual se debe especificar el "id" del registro buscado.

Etapa en construcción	Fecha d-m-a	Actualizaciones	Mejoras y observaciones
<p>Etapa de recepción (subetapa visualización web)</p>	10-12-06	Se crea un script en lenguaje PHP, para borrar un registro específico dentro de la base de datos, al hacer clic sobre el vínculo "Borrar registro"	Al dar clic en el vínculo "Borrar registro", se muestra un formulario de borrado, en el cual hay que especificar el "id" del registro que se desea borrar.
	14-12-06	Se crea un script en lenguaje PHP, para resolver las inquietudes de los usuarios	<p>Al dar clic en el vínculo "Contáctenos", se muestra un formulario de contacto, el cual presenta los siguientes campos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Asunto 2. Mensaje 3. Email (usuario) <p>Al enviar la consulta, las variables se envían a un script creado en PHP, para procesar los datos y enviar una respuesta prontamente.</p>
	21-12-06	Se utiliza una dirección IP pública, con el fin de montar un servidor web sobre Internet y que alberga la página creada.	La página web ahora puede ser vista desde cualquier lugar del mundo usando Internet.

Fuente: Autores

5 PRUEBAS

Este flujo de trabajo está concentrado en las fases de *Elaboración y Construcción* tal como se aprecia en la *Figura 1*. Se realizan pruebas con los equipos ubicados en las diversas etapas con el propósito de observar el funcionamiento, rendimiento y estabilidad de los programas diseñados e implementados en el sistema.

5.1 ELABORACIÓN

Para la correcta realización de las pruebas, es necesario contar con un entorno de trabajo adecuado, en donde los recursos usados deben cumplir una serie de requerimientos mínimos, tales como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 27. Pruebas (recursos y requerimientos)

Recursos	Requerimientos
Hardware de recepción	PC: memoria RAM 256 MB, velocidad procesador 1.8 Ghz, una dirección IP pública (para este proyecto se usó la dirección IP 200.21.228.105), puertos TCP (para este proyecto se usó el puerto 10011) por donde se realiza la conexión habilitados, acceso a la red de Internet.
Software de recepción	<p>Java: instalar alguna versión de Java en el PC (para este proyecto se usó la versión SDK 1.4 que incluye el API JDBC).</p> <p>Controlador JDBC: cargar el controlador JDBC que permita interactuar con la base de datos desde Java (para este proyecto se usó la versión 3.1 del controlador JDBC para MySQL, denominado connector/J).</p> <p>MySQL: instalar una versión del motor de base de datos MySQL en el PC (para este proyecto se usó la versión 4.1).</p> <p>PHP: instalar una versión de PHP en el PC (para este proyecto se usó la versión 5.1).</p> <p>APACHE: instalar una versión del servidor APACHE en el PC (para este proyecto se usó la versión 1.3).</p>
Red inalámbrica	Red GSM/GPRS: debe estar activa y en funcionamiento, para poder aceptar y procesar las peticiones hechas por el Modem.
Hardware de transmisión	Modem: dispositivo GM28, con su respectiva antena, adaptador de voltaje, y cable para el puerto serial
Software de transmisión	Comandos AT: el Modem debe estar listo para ser programado con estos comandos, a través de un PC cualquiera, usando el software "Hiperterminal" o a través de un microcontrolador adaptado a los comandos AT

Fuente: Autores

Para que el sistema funcione correctamente en el momento de ser probado, es recomendable cargar primero todos los programas del *PC*, y luego los del *Modem*.

A) Pasos a realizar en el PC

1. Ejecutar el servidor web Apache.
2. Cargar el script que contiene la página web (programada en *HTML* y *PHP*).
3. Poner en funcionamiento la base de datos creada en *MySQL*.
4. Cargar el programa "receptor de datos" de la *subetapa receptor*.
5. Cargar el programa "puente" de la *subetapa puente* (Programada en Java).

Luego de realizar estos pasos, el *PC* está en la capacidad de recibir los datos y peticiones de un cliente.

B) Pasos a realizar en el Modem

El *Modem* se programa en la **configuración modo activo**, a través del puerto serial del mismo y usando **comandos AT**. Se utilizan dos opciones para la programación de este dispositivo: usando *hyperterminal* desde un *PC* cualquiera, o empleando un microcontrolador.

Luego de ser programado el *Modem*, este puede establecer una conexión con el *PC*, y enviarle datos o peticiones a través de la red *GSM/GPRS*.

C) Cómo y en dónde se realizan las pruebas

Debido a que en este proyecto no se realiza la digitalización de los datos analógicos de los contadores, se optó por simular los datos de los mismos a través de un computador portátil que envía la información al *Modem* por el puerto serial del mismo.

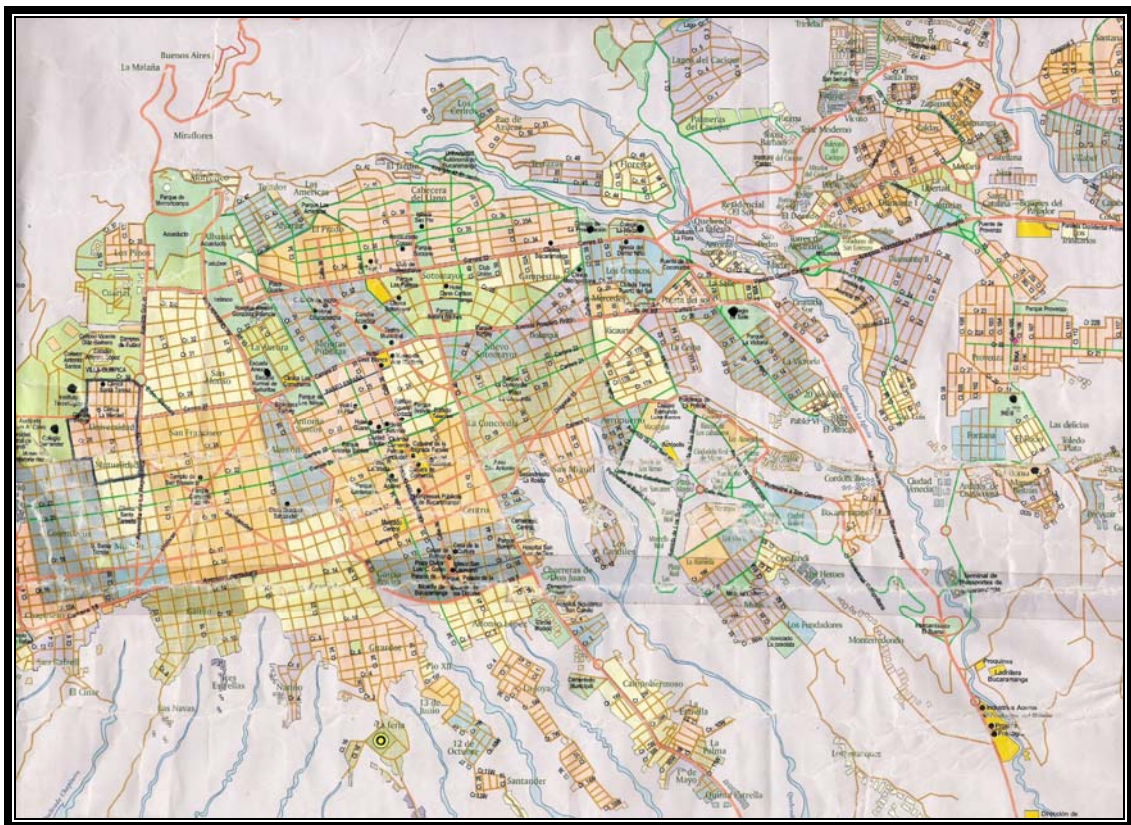
Para la realización de las pruebas se eligieron diversos barrios estratégicos que cubrieran gran parte de la ciudad de Bucaramanga, tales como: San Francisco, San Alonso, Sotomayor, Centro, Ceiba, Real de minas, Mutis, Provenza y Lagos del cacique.

Figura 42. Portátil para transmisión de los datos vía serial al Módem



Fuente: Autores

Figura 43. Mapa de Bucaramanga



Fuente: Autores

5.2 CONSTRUCCIÓN

Una vez establecido un canal de comunicaciones entre el *PC* y el *Modem*, la transmisión de datos entre ambos debe cumplir los siguientes pasos:

1. El *Modem* envía un dato al *PC*.
2. El *PC* recibe el dato y devuelve una "confirmación de llegada" del dato, luego procesa el dato y lo almacena en la base de datos, para su posterior visualización en la página web.
3. El *Modem*, recibe la "confirmación de llegada" del dato que envió en el paso 1.

A continuación se muestran algunas pruebas realizadas desde la *subetapa receptor* hasta la *subetapa visualización web*, con el propósito de determinar la funcionalidad del sistema diseñado.

5.2.1 Prueba 1: Datos erróneos en la transmisión

Se realizan transmisiones de datos desde diferentes barrios de Bucaramanga, y se elige aleatoriamente alguna de estas mediciones para su análisis.

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **MUTIS**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 17:03:59

Número de datos enviados: 14

Tabla 28. Prueba 1: Datos erróneos en la transmisión

Envío número	Dato enviado	¿Llego el dato?	Dato recibido	"confirmación de llegada" del dato
1	dato 1	si	dato 1	Recibida
2	dato 2	si	dato 2	Recibida
3	dato 3	si	dato 3	Recibida
4	1222222	si	1222222	Recibida
5	3333333	si	3333333	Recibida
6	4444444	si	4444444	Recibida
7	1222222	si	1222222	Recibida
8	3333333	si	3333333	Recibida
9	5555555	si	5555555	Recibida
10	1234567	si	1234567	Recibida
11	3210123	si	3210123	Recibida
12	0000000	si	0000000	Recibida
13	1230007	si	1230007	Recibida
14	9874561	si	9874561	Recibida
15	4568745	si	4568745	Recibida
16	1342222	si	1342222	Recibida

Fuente: Autores

En la transmisión anterior, todos los datos enviados y las "confirmaciones de llegadas" fueron exitosas.

En esta prueba sólo se tabularon 14 datos transmitidos, pero se realizaron 505 envíos más, no mostrados en este libro, los cuales fueron recibidos satisfactoriamente y sin errores.

Tabla 29. Evaluación de los resultados de la prueba 1

✓ Aprobado		✗ No aprobado
Variables de la prueba	Criterio de aceptación	Resultados
Eficiencia en la transmisión de los datos	El sistema presenta tasas muy bajas por pérdida de datos	✓
Confirmación de llegada de los datos	El sistema envía una "confirmación de llegada" de los datos, que verifica la transmisión y recepción satisfactoria de los datos enviados.	✓
Fidelidad en la transmisión de los datos	Los datos transmitidos llegan con el mínimo de errores	✓

Fuente: Autores

5.2.2 Prueba 2: Envío de datos desde barrios en Bucaramanga

En esta prueba se envían varios datos desde el *Modem* (cliente) ubicado en diferentes lugares de Bucaramanga hasta el *PC* (servidor), esto con el fin de simular la transmisión de los datos desde diversos sitios de la ciudad, y de esta forma observar la velocidad de transmisión y la cobertura del sistema. A continuación se muestran algunas tablas que describen estos procesos.

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **SAN ALONSO**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 13:22:01

Número de datos enviados: 10

Tiempo promedio, entre el envío y la llegada del dato: 1.74 segundos

Tabla 30. Prueba 2: envío de datos desde SAN ALONSO

Barrio SAN ALONSO					
Envío número	Hora de envío del dato (h,m,s)	¿Llego el dato?	Hora de llegada del dato (h,m,s)	Hora de llegada de la "confirmación de llegada" del dato (h,m,s)	Tiempo entre el envío y la llegada del dato (s)
1	13:22:39.08	si	13:22:47.23	13:22:56.23	7.43
2	13:22:40.28	si	13:22:41.23	13:22:56.23	0.95
3	13:22:41.45	si	13:22:43.88	13:22:56.23	2.43
4	13:22:44.36	si	13:22:47.56	13:22:56.23	3.20
5	13:23:22.08	si	13:23:22.41	13:23:23.08	0.33
6	13:23:24.17	si	13:23:24.95	13:23:24.95	0.78
7	13:23:25.31	si	13:23:26.06	13:23:26.44	0.75
8	13:23:26.67	si	13:23:27.13	13:23:28.00	0.46
9	13:23:28.20	si	13:23:28.92	13:23:29.40	0.72
10	13:23:33.91	si	13:23:34.27	13:23:35.56	0.36

Fuente: Autores

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **CENTRO**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 14:13:35

Número de datos enviados: 10

Tiempo promedio, entre el envío y la llegada del dato: 0,77 segundos

Tabla 31. Prueba 2: envío de datos desde el CENTRO

Barrio CENTRO					
Envío número	Hora de envío del dato (h,m,s)	¿Llego el dato?	Hora de llegada del dato (h,m,s)	Hora de llegada de la "confirmación de llegada" del dato (h,m,s)	Tiempo entre el envío y la llegada del dato (s)
1	14:13:35.17	si	14:13:37.56	14:13:41.42	2.39
2	14:13:46.73	si	14:13:47.98	14:13:48.17	1.25
3	14:13:50.79	si	14:13:51.02	14:13:52.09	0.23
4	14:13:57.92	si	14:13:58.14	14:13:58.90	0.22
5	14:14:01.69	si	14:14:02.22	14:14:03.00	0.53
6	14:14:05.31	si	14:14:05.42	14:14:05.50	0.11
7	14:14:08.78	i	14:14:09.39	14:14:10.19	0.61
8	14:14:13.67	si	14:14:14.03	14:14:14.72	0.36
9	14:14:15.28	si	14:14:15.89	14:14:16.33	0.61
10	14:14:20.31	si	14:14:21.78	14:14:21.31	1.47

Fuente: Autores

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **LA CEIBA**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 16:26:24

Número de datos enviados: 10

Tiempo promedio, entre el envío y la llegada del dato: 1,34 segundos

Tabla 32. Prueba 2: envío de datos desde LA CEIBA

Barrio LA CEIBA					
Envío número	Hora de envío del dato (h,m,s)	¿Llego el dato?	Hora de llegada del dato (h,m,s)	Hora de llegada de la "confirmación de llegada" del dato (h,m,s)	Tiempo entre el envío y la llegada del dato (s)
1	16:26:24.42	si	16:26:26.99	16:26:29.95	2.57
2	16:26:26.51	si	16:26:28.19	16:26:30.65	1.68
3	16:26:34.11	si	16:26:34.95	16:26:35.29	0.84
4	16:27:01.50	si	16:27:02.01	16:27:02.58	0.51
5	16:27:02.70	si	16:27:03.08	16:27:03.34	0.38
6	16:27:04.92	si	16:27:05.18	16:27:05.58	0.26
7	16:27:14.67	si	16:27:14.98	16:27:15.70	0.31
8	16:27:15.73	si	16:27:16.42	16:27:16.75	0.69
9	16:27:20.65	si	16:27:21.17	16:27:21.65	0.52
10	16:27:23.03	si	16:27:28.73	16:27:39.67	5.7

Fuente: Autores

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **PROVENZA**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 17:22:17

Número de datos enviados: 10

Tiempo promedio, entre el envío y la llegada del dato: 0,99 segundos

Tabla 33. Prueba 2: envío de datos desde PROVENZA

Barrio PROVENZA					
Envío número	Hora de envío del dato (h,m,s)	¿Llego el dato?	Hora de llegada del dato (h,m,s)	Hora de llegada de la "confirmación de llegada" del dato (h,m,s)	Tiempo entre el envío y la llegada del dato (s)
1	17:22:17.79	si	17:22:20.54	17:22:23.22	2.75
2	17:22:21.76	si	17:22:23.49	17:22:24.86	1.73
3	17:22:26.15	si	17:22:28.41	17:22:30.73	2.26
4	17:22:33.40	si	17:22:33.85	17:22:34.69	0.45
5	17:22:38.03	si	17:22:38.17	17:22:38.29	1.14
6	17:22:38.94	si	17:22:39.19	17:22:40.25	0.25
7	17:22:42.97	si	17:22:43.27	17:22:43.87	0.3
8	17:22:45.11	si	17:22:45.23	17:22:45.42	0.12
9	17:22:46.23	si	17:22:47.06	17:22:47.44	0.83
10	17:22:47.37	si	17:22:47.44	17:22:47.98	0.07

Fuente: Autores

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **REAL DE MINAS**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 16:49:16

Número de datos enviados: 10

Tiempo promedio, entre el envío y la llegada del dato: 0,97 segundos

Tabla 34. Prueba 2: envío de datos desde REAL DE MINAS

Barrio REAL DE MINAS					
Envío número	Hora de envío del dato (h,m,s)	¿Llego el dato?	Hora de llegada del dato (h,m,s)	Hora de llegada de la "confirmación de llegada" del dato (h,m,s)	Tiempo entre el envío y la llegada del dato (s)
1	16:49:16.83	si	16:49:19.02	16:49:24.31	2.19
2	16:49:18.28	si	16:49:20.75	16:49:24.75	2.47
3	16:49:40.75	si	16:49:41.31	16:49:41.72	0.56
4	16:49:43.40	si	16:49:44.28	16:49:45.25	0.88
5	16:49:52.28	si	16:49:52.81	16:49:53.20	0.53
6	16:49:54.40	si	16:49:55.17	16:49:55.86	0.77
7	16:49:56.95	si	16:49:57.14	16:49:57.61	0.19
8	16:49:58.62	si	16:49:59.06	16:49:59.89	0.44
9	16:49:58.97	si	16:49:59.32	16:49:59.89	0.35
10	16:50:02.01	si	16:50:03.39	16:50:03.74	1.38

Fuente: Autores

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **SOTO MAYOR**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 15:48:13

Número de datos enviados: 10

Tiempo promedio, entre el envío y la llegada del dato: 0,54 segundos

Tabla 35. Prueba 2: envío de datos desde SOTO MAYOR

Barrio SOTO MAYOR					
Envío número	Hora de envío del dato (h,m,s)	¿Llego el dato?	Hora de llegada del dato (h,m,s)	Hora de llegada de la "confirmación de llegada" del dato (h,m,s)	Tiempo entre el envío y la llegada del dato (s)
1	15:48:13.61	si	15:48:14.45	15:48:16.65	0.84
2	15:48:14.70	si	15:48:15.23	15:48:16.65	0.53
3	15:48:19.76	si	15:48:20.05	15:48:20.40	0.29
4	15:48:22.17	si	15:48:22.98	15:48:23.28	0.81
5	15:48:28.73	si	15:48:29.32	15:48:29.83	0.59
6	15:48:31.58	si	15:48:31.89	15:48:32.33	0.31
7	15:48:41.04	si	15:48:41.31	15:48:41.98	0.27
8	15:48:44.14	si	15:48:44.72	15:48:45.26	0.58
9	15:48:45.26	si	15:48:45.69	15:48:46.12	0.43
10	15:48:46.33	si	15:48:47.13	15:48:47.47	0.8

Fuente: Autores

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **SAN FRANCISCO**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 14:43:00

Número de datos enviados: 10

Tiempo promedio, entre el envío y la llegada del dato: 1,00 segundos

Tabla 36. Prueba 2: envío de datos desde SAN FRANCISCO

Barrio SAN FRANCISCO					
Envío número	Hora de envío del dato (h,m,s)	¿Llego el dato?	Hora de llegada del dato (h,m,s)	Hora de llegada de la "confirmación de llegada" del dato (h,m,s)	Tiempo entre el envío y la llegada del dato (s)
1	14:43:00.40	si	14:43:03.34	14:43:06.15	2.94
2	14:43:02.98	si	14:43:05.38	14:43:07.12	2.4
3	14:43:08.00	si	14:43:08.55	14:43:09.08	0.55
4	14:43:11.95	si	14:43:12.68	14:43:13.28	0.73
5	14:43:19.20	si	14:43:19.95	14:43:20.25	0.75
6	14:43:21.42	si	14:43:22.12	14:43:22.64	0.7
7	14:43:27.58	si	14:43:28.21	14:43:28.81	0.63
8	14:43:36.94	si	14:43:37.22	14:43:38.25	0.28
9	14:43:38.36	si	14:43:38.87	14:43:39.34	0.51
10	14:43:40.06	si	14:43:40.66	14:43:41.06	0.6

Fuente: Autores

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **LAGOS DEL CACIQUE**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 17:43:33

Número de datos enviados: 10

Tiempo promedio, entre el envío y la llegada del dato: 1,02 segundos

Tabla 37. Prueba 2: Envío de datos desde LAGOS DEL CACIQUE

Barrio LAGOS DEL CACIQUE					
Envío número	Hora de envío del dato (h,m,s)	¿Llego el dato?	Hora de llegada del dato (h,m,s)	Hora de llegada de la "confirmación de llegada" del dato (h,m,s)	Tiempo entre el envío y la llegada del dato (s)
1	17:43:33.29	si	17:43:35.15	17:43:38.89	1.86
2	17:43:34.19	si	17:43:37.82	17:43:39.84	3.63
3	17:43:41.28	si	17:43:41.95	17:43:42.59	0.67
4	17:43:48.20	si	17:43:49.59	17:43:49.28	1.39
5	17:43:50.95	si	17:43:51.36	17:43:51.95	0.41
6	17:43:53.90	si	17:43:54.22	17:43:54.58	0.32
7	17:43:57.76	si	17:43:58.22	17:43:58.76	0.46
8	17:44:02.76	si	17:44:03.33	17:44:04.23	0.57
9	17:44:06.08	si	17:44:06.39	17:44:07.06	0.31
10	17:44:07.31	si	17:44:07.89	17:44:08.59	0.58

Fuente: Autores

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **MUTIS**

Fecha: 13 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 17:03:59

Número de datos enviados: 10

Tiempo promedio, entre el envío y la llegada del dato: 1,14 segundos

Tabla 38. Prueba 2: Envío de datos desde el MUTIS

Barrio MUTIS					
Envío número	Hora de envío del dato (h,m,s)	¿Llego el dato?	Hora de llegada del dato (h,m,s)	Hora de llegada de la "confirmación de llegada" del dato (h,m,s)	Tiempo entre el envío y la llegada del dato (s)
1	17:03:59.94	si	17:04:02.21	17:04:05.48	2.27
2	17:04:01.84	si	17:04:05.89	17:04:09.67	4.05
3	17:04:15.50	si	17:04:15.93	17:04:16.50	0.43
4	17:04:18.84	si	17:04:19.22	17:04:19.92	0.38
5	17:04:22.56	si	17:04:23.19	17:04:23.75	0.63
6	17:04:24.89	si	17:04:25.33	17:04:25.83	0.44
7	17:04:28.84	si	17:04:29.35	17:04:29.87	0.51
8	17:04:32.00	si	17:04:32.95	17:04:33.36	0.95
9	17:04:34.48	si	17:04:35.87	17:04:36.76	1.39
10	17:04:36.70	si	17:04:37.13	17:04:37.54	0.43

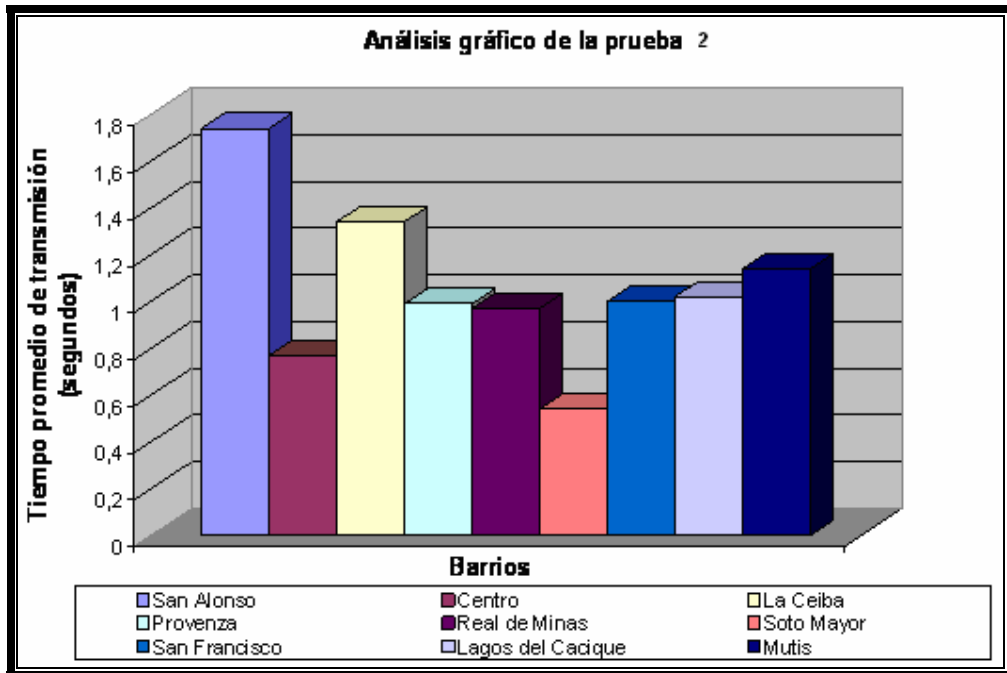
Fuente: Autores

De las tablas anteriores se puede apreciar que **TODOS** los datos enviados llegaron a su destino, y los tiempos promedios de transmisión oscilan entre 0,54 y 1,74 segundos, haciendo al sistema confiable y eficiente.

Se analizaron en total nueve barrios del área metropolitana de Bucaramanga, seleccionados estratégicamente para cubrir gran parte de la ciudad y evaluar la cobertura del sistema de forma global.

A continuación se muestra una figura con los tiempos promedios de transmisión en cada barrio donde se enviaron los datos.

Figura 44. Análisis gráfico prueba 2



Fuente: Autores

Tabla 39. Evaluación de los resultados de la prueba 2

✓ Aprobado		✗ No aprobado
Variables de la prueba	Criterio de aceptación	Resultados
Tiempo de transmisión	El tiempo de transmisión de los datos es relativamente pequeño.	✓
Cobertura en los barrios de la ciudad	Alta cobertura, o capacidad de realizar la transmisión de los datos desde una gran cantidad de lugares en la ciudad.	✓

Fuente: Autores

5.2.3 Prueba 3: Creación e inserción de información en la base de datos

Para realizar esta prueba, se usaron los datos transmitidos en la *prueba 1*, y se pudo observar la inserción consecutiva de la información a la base de datos, la cual se puede visualizar en la ventana de consola de *MySQL*, tal como se aprecia a continuación.

Figura 45. Prueba 3: Creación e inserción de información en la base de datos

```
mysql> select* from info order by id;
```

id	host_remoto	ip_remota	dato	hora	fecha
1	localhost	127.0.0.1	dato 1	14:40:44	2007-01-23
2	localhost	127.0.0.1	dato 2	14:41:36	2007-01-23
3	localhost	127.0.0.1	dato 3	14:42:12	2007-01-23
4	192.52.1.120	192.52.1.120	1222222	15:45:55	2007-01-03
5	192.52.1.120	192.52.1.120	3333333	15:45:59	2007-01-03
6	192.52.1.120	192.52.1.120	4444444	15:46:03	2007-01-03
7	192.52.1.120	192.52.1.120	1222222	15:46:46	2007-01-03
8	192.52.1.120	192.52.1.120	3333333	15:46:51	2007-01-03
9	192.52.1.120	192.52.1.120	5555555	15:46:56	2007-01-03
10	192.52.1.120	192.52.1.120	1234567	15:47:03	2007-01-03
11	192.52.1.120	192.52.1.120	3210123	15:47:11	2007-01-03
12	192.52.1.120	192.52.1.120	0000000	15:48:01	2007-01-03
13	192.52.1.120	192.52.1.120	1230007	15:48:08	2007-01-03
14	192.52.1.120	192.52.1.120	9874561	15:48:14	2007-01-03
15	192.52.1.120	192.52.1.120	4568745	15:48:56	2007-01-03
16	192.52.1.120	192.52.1.120	1342222	15:49:02	2007-01-03

16 rows in set (0.00 sec)

```
mysql>
```

Fuente: Autores

Como se puede apreciar los datos se muestran sobre una tabla, cumpliendo con el objetivo de crear una base de datos con los campos: *id*, *host_remoto*, *ip_remota*, *dato*, *hora* y *fecha*. Además se pudo corroborar el correcto funcionamiento del proceso de inserción de la información dentro de la base de datos. En *MySQL* la capacidad de almacenamiento es de hasta 50000000 registros, la cual es suficiente para albergar los consumos de aproximadamente 195000 contadores de agua existentes en Bucaramanga.

A continuación se muestra una tabla donde plantean algunas observaciones realizadas en cuanto a la prueba 3: creación e inserción de información en la base de datos.

Tabla 40. Evaluación de los resultados de la prueba 3

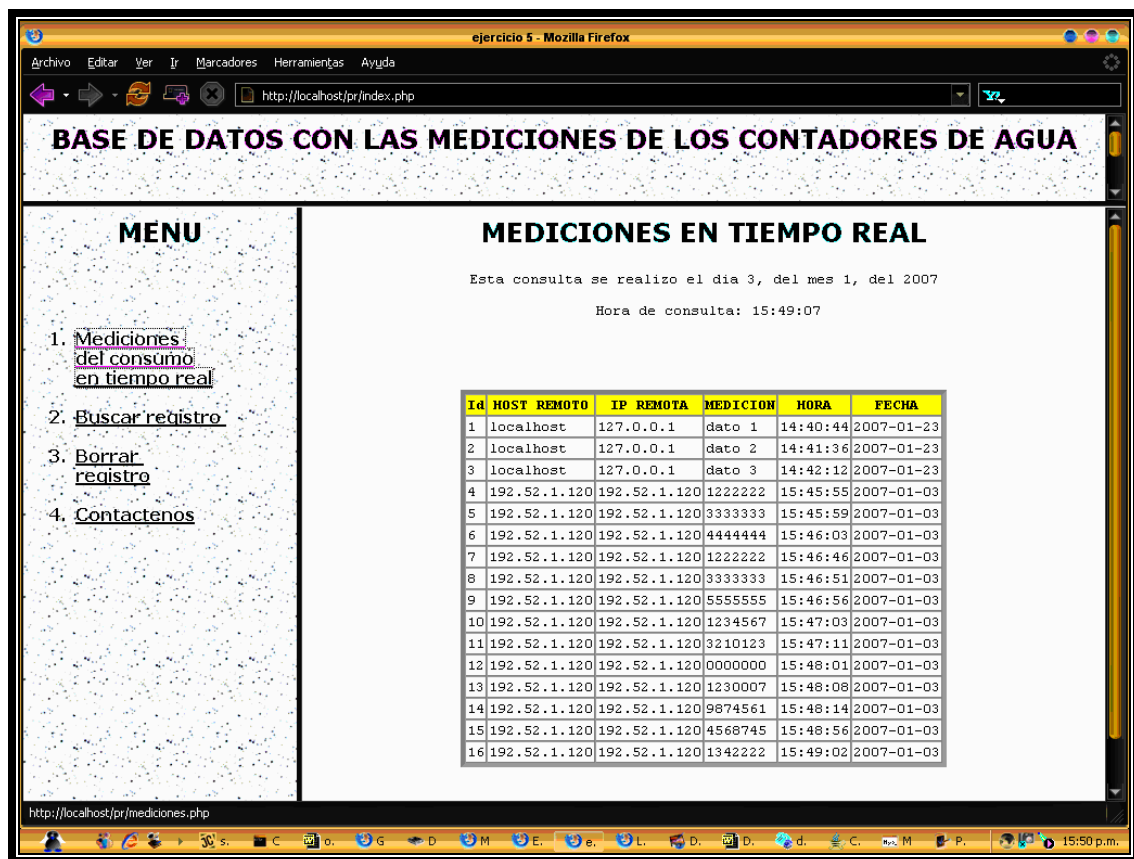
✓ Aprobado		✗ No aprobado
Variables de la prueba	Criterio de aceptación	Resultados
Creación de la base de datos	Se crea una base de datos, que contiene los campos: id, host_remoto, ip_remota, dato, hora y fecha.	✓
Seguridad de la base de datos	El ingreso a la base de datos se hace a través de: *Un nombre de usuario. *Una contraseña.	✓
Inserción de datos	Los datos que van llegando a la etapa de recepción, son trasladados automáticamente a la base de datos. Estos llegan con su nombre de host remoto, ip_remota, y con la hora y fecha de llegada, formando un nuevo registro.	✓
Capacidad de interactuar con Internet	La base de datos puede interactuar y ser vista desde una página web.	✓
Capacidad de almacenamiento	La base de datos tiene una capacidad de almacenamiento alta, con el propósito de alojar todos los registros provenientes de los contadores de agua.	✓

Fuente: Autores

5.2.4 Prueba 4: Visualización de la página web

En esta prueba se analizan los resultados del sitio web diseñado, en la cual se pueden observar los datos almacenados, buscar y/o borrar registros específicos, o formular dudas e inquietudes. Esta página puede ser vista a través de Internet desde cualquier parte del mundo. A continuación se muestra su distribución espacial de la misma.

Figura 46. Prueba 4: Visualización de la página web



Fuente: Autores

Como se puede observar de la figura anterior, en la parte izquierda de la página web se encuentra un menú, con cuatro vínculos: *Mediciones del consumo en el tiempo*, *Buscar registro*, *Borrar registro*, y *Contáctenos*.

Al hacer clic sobre cualquier vínculo, se despliega la información respectiva, en la parte central de la página web; en el caso particular mostrado, se ha seleccionado la opción “1. Mediciones del consumo en el tiempo”.

La prueba 4, se divide a su vez en cuatro fases: *fase 1: consulta y visualización de las mediciones en el tiempo, fase 2: buscar registros, fase 3: borrar registros y fase 4: contáctenos.*

Fase 1. Consulta y visualización de las mediciones en el tiempo

En esta fase se observan los resultados de realizar la consulta de un registro a través de Internet, a la base de datos ubicada en el servidor de la estación central de información, simplemente dando clic sobre el vínculo “1. Mediciones de consumo en el tiempo”, que se encuentra en el menú de la página web.

En la siguiente figura se muestran los resultados de las *Mediciones de consumo en el tiempo* de la prueba 1, que son los únicos datos existentes hasta ese momento en la base de datos.

Figura 47. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 1)






MEDICIONES EN TIEMPO REAL					
Esta consulta se realizo el dia 3, del mes 1, del 2007					
Hora de consulta: 16:11:17					
Id	HOST REMOTO	IP REMOTA	MEDICION	HORA	FECHA
1	localhost	127.0.0.1	dato 1	14:40:44	2007-01-23
2	localhost	127.0.0.1	dato 2	14:41:36	2007-01-23
3	localhost	127.0.0.1	dato 3	14:42:12	2007-01-23
4	192.52.1.120	192.52.1.120	1222222	15:45:55	2007-01-03
5	192.52.1.120	192.52.1.120	3333333	15:45:59	2007-01-03
6	192.52.1.120	192.52.1.120	4444444	15:46:03	2007-01-03
7	192.52.1.120	192.52.1.120	1222222	15:46:46	2007-01-03
8	192.52.1.120	192.52.1.120	3333333	15:46:51	2007-01-03
9	192.52.1.120	192.52.1.120	5555555	15:46:56	2007-01-03
10	192.52.1.120	192.52.1.120	1234567	15:47:03	2007-01-03
11	192.52.1.120	192.52.1.120	3210123	15:47:11	2007-01-03
12	192.52.1.120	192.52.1.120	0000000	15:48:01	2007-01-03
13	192.52.1.120	192.52.1.120	1230007	15:48:08	2007-01-03
14	192.52.1.120	192.52.1.120	9874561	15:48:14	2007-01-03
15	192.52.1.120	192.52.1.120	4568745	15:48:56	2007-01-03
16	192.52.1.120	192.52.1.120	1342222	15:49:02	2007-01-03

Fuente: Autores

Se pudo comprobar el correcto funcionamiento del acceso a la base de datos desde Internet, para realización de una consulta. Al dar clic sobre el link “1. Mediciones de consumo en el tiempo”, se observa el despliegue de una nueva página web que muestra una tabla con los datos de las mediciones, almacenadas en la base de datos; esta página también muestra la fecha y hora de consulta por parte del usuario.

Los resultados del HOST REMOTO y de la IP REMOTA, asociados con los *Id* 1,2 y 3, son respectivamente *localhost* y 127.0.0.1. Esto se debió a que las tres primeras pruebas se realizaron usando *telnet* para transmitir datos utilizando el protocolo TCP/IP. El resto de registros tienen una IP REMOTA 192.52.1.120, que es la IP asignada al Modem que envió los datos.

Tabla 41. Evaluación de los resultados de la prueba 4 (fase 1)

 Aprobado		 No aprobado	
Variables de la prueba	Criterio de aceptación	Resultados	
Acceso a la base de datos desde Internet	El sistema tiene acceso a la base de datos que está en la estación central de información, a través de una página web.		
Consulta y visualización de los datos	La información almacenada en la base de datos puede ser consultada desde cualquier lugar del mundo a través de Internet		
Actualización de la base de datos en la página web	Cada vez que se da clic en el vínculo “1. Mediciones de consumo en el tiempo”, la página web actualiza la base de datos.		

Fuente: Autores

Fase 2. Buscar registros

En esta fase se observan los resultados de buscar un registro en la base de datos, dando clic sobre el vínculo "2. Buscar registro", luego de especificar el *id* del mismo.

A continuación se muestra un ejemplo, en el cual se realizó la búsqueda del registro con *id* = 10, y que identifica al dato con la medición "1234567", tomado de los datos transmitidos en la *prueba 1*, y los cuales fueron insertados automáticamente en la base de datos. El formulario de búsqueda creado se observa a continuación.

Figura 48. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 2-1)

Fuente: Autores

Si la búsqueda tuvo éxito, es decir el registro con el *id* especificado en el formulario existe dentro de la base de datos, entonces el sistema despliega los resultados como se observa en la siguiente figura.

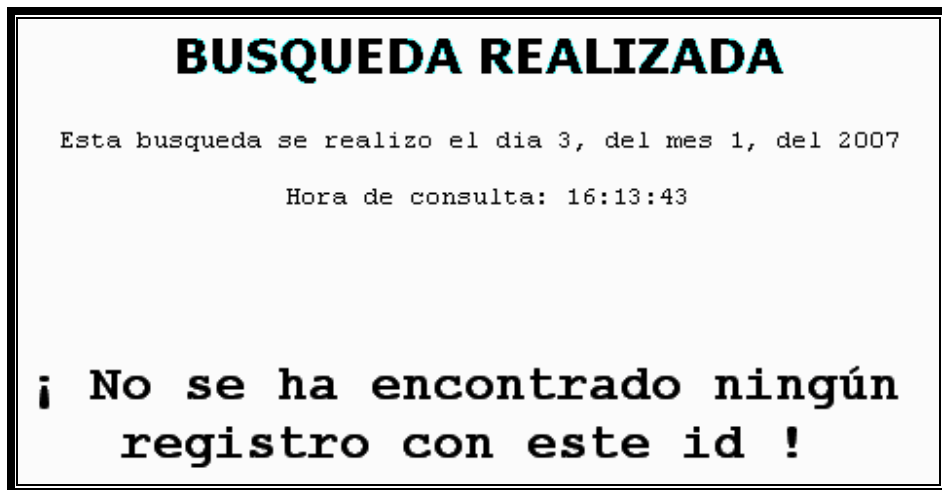
Figura 49. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 2-2)

ID	HOST REMOTO	IP REMOTA	MEDICION	HORA	FECHA
10	192.52.1.120	192.52.1.120	1234567	15:47:03	2007-01-03

Fuente: Autores

Si el *id* del registro buscado, **NO** existe en la base de datos, entonces la página web despliega el mensaje: “*No se ha encontrado ningún registro con este id*”, tal como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 50. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 2-3)



Fuente: Autores

Se pudo comprobar el correcto funcionamiento del proceso de búsqueda en la base de datos desde Internet. Al dar clic sobre el vínculo “2. *Buscar registro*”, se observó el despliegue de una nueva ventana que muestra una tabla con los datos del registro buscado si este existe, o un mensaje que indica la no existencia del mismo. Estas páginas también muestran la fecha y hora de la búsqueda realizada por el usuario.

A continuación se muestra la evaluación de los resultados de la *prueba 4: visualización de la página web (fase 2, buscar registro)*.

Tabla 42. Evaluación de los resultados de la prueba 4 (fase 2)

✓ Aprobado		✗ No aprobado
Variables de la prueba	Criterio de aceptación	Resultados
Formulario de búsqueda	Al dar clic en el vínculo "2. Buscar registro", se puede acceder a un formulario de búsqueda, en el cual se debe digitar el id del registro a buscar.	✓
Acceso a la base de datos desde Internet	Acceso a la base de datos ubicada en la estación central de información, para realizar la búsqueda o borrado de un registro específico.	✓
Visualización del registro buscado	Si se encuentra el registro buscado en la base de datos, este puede ser visto en cualquier lugar del mundo a través de Internet.	✓
Confirmación de una búsqueda de resultados	Si el registro buscado no se encuentra en la base de datos, la página web debe enviar un mensaje relacionado con esto.	✓

Fuente: Autores

Fase 3. Borrar registros

En esta fase se observan los resultados de borrar un registro de la base de datos, dando clic sobre el vínculo "3. Borrar registro", luego de especificar el *id* del mismo.

A continuación se muestra un ejemplo, en el cual se realizó el borrado del registro con *id* = 16, y que identifica al dato con la medición "1342222", tomado de los datos transmitidos en la *prueba 1*, y los cuales fueron insertados automáticamente en la base de datos. El "formulario de borrado" creado se observa a continuación.

Figura 51. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 3-1)

Especifique el id del registro que desea borrar

id: 16

borrar

Fuente: Autores

Los resultados de la eliminar un registro, hacen que la base de datos se actualice, y lo cual se muestra en la siguiente figura.

Figura 52. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 3-2)

REGISTRO BORRADO					
El registro con id=16, fue borrado de la base de datos, el dia 3, del mes 1, del 2007					
Hora de borrado: 16:24:11					
ID	HOST REMOTO	IP REMOTA	MEDICION	HORA	FECHA
1	localhost	127.0.0.1	dato 1	14:40:44	2007-01-23
2	localhost	127.0.0.1	dato 2	14:41:36	2007-01-23
3	localhost	127.0.0.1	dato 3	14:42:12	2007-01-23
4	192.52.1.120	192.52.1.120	1222222	15:45:55	2007-01-03
5	192.52.1.120	192.52.1.120	3333333	15:45:59	2007-01-03
6	192.52.1.120	192.52.1.120	4444444	15:46:03	2007-01-03
7	192.52.1.120	192.52.1.120	1222222	15:46:46	2007-01-03
8	192.52.1.120	192.52.1.120	3333333	15:46:51	2007-01-03
9	192.52.1.120	192.52.1.120	5555555	15:46:56	2007-01-03
10	192.52.1.120	192.52.1.120	1234567	15:47:03	2007-01-03
11	192.52.1.120	192.52.1.120	3210123	15:47:11	2007-01-03
12	192.52.1.120	192.52.1.120	0000000	15:48:01	2007-01-03
13	192.52.1.120	192.52.1.120	1230007	15:48:08	2007-01-03
14	192.52.1.120	192.52.1.120	9874561	15:48:14	2007-01-03
15	192.52.1.120	192.52.1.120	4568745	15:48:56	2007-01-03

Fuente: Autores

Se pudo comprobar el correcto funcionamiento del proceso de borrado de un registro de la base de datos desde Internet. Al dar clic sobre el vínculo "3. Borrar registro", se observó el despliegue de la misma tabla pero sin los datos eliminados. Esta pagina también muestra la fecha y hora de consulta realizada por el usuario.

A continuación se muestra la evaluación de los resultados de la *prueba 4: visualización de la página web (fase 3, borrar registro)*.

Tabla 43. Evaluación de los resultados de la prueba 4 (fase 3)

✓ Aprobado		✗ No aprobado
Variables de la prueba	Criterio de aceptación	Resultados
Formulario de borrado	Al dar clic en el vínculo "3. Borrar registro", se puede acceder a un formulario de borrado, en el cual se debe digitar el id del registro a borrar.	✓
Acceso a la base de datos desde Internet	Acceso a la base de datos ubicada en la estación central de información, para realizar el borrado de un registro específico.	✓
Visualización de la base de datos actualizada	Si el registro pudo ser borrado de la base de datos, la página confirma la eliminación, y muestra la base de datos actualizada.	✓
Confirmación de búsqueda sin resultados	Si el registro a borrar no se encuentra en la base de datos, la página web debe enviar un mensaje relacionado con esto.	✓

Fuente: Autores

Fase 4. Contáctenos

En esta fase el usuario puede formular sus dudas e inquietudes, que serán posteriormente resueltas a través del correo electrónico del cliente. Al dar clic sobre el vínculo "4. Contáctenos" se despliega el "formulario de contacto" que se muestra en la siguiente figura.

Figura 53. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 4-1)

CONTACTENOS

ASUNTO

MENSAJE:

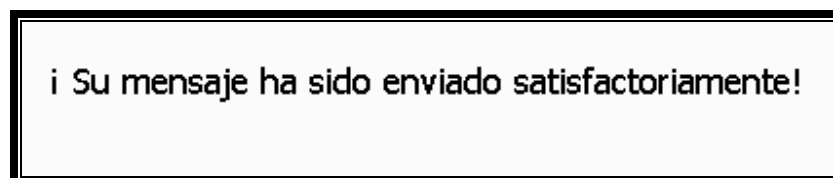
EMAIL:

Enviar consulta

Fuente: Autores

El resultado de la confirmación del contacto se presenta a continuación.

Figura 54. Prueba 4: Visualización de la página web (fase 4-2)



Fuente: Autores

El proceso de contacto del usuario con la central de información, funcionó a la perfección, y cuando el usuario envía un mensaje, este mensaje llega a un correo electrónico correspondiente a la central de información, y luego la central de información responde al correo electrónico digitado por el usuario, en el formulario de contacto.

Tabla 44. Evaluación de los resultados de la prueba 4 (fase 4)

✓ Aprobado		✗ No aprobado
Variables de la prueba	Criterio de aceptación	Resultados
Formulario de contacto	Al dar clic en el vínculo "4. Contáctenos", se puede acceder a un formulario de contacto, en el cual el usuario puede expresar sus inquietudes.	✓
Envío del mensaje hasta la estación central de información	Al dar clic sobre el botón "enviar consulta" del formulario de contacto, envía esta consulta hasta la estación central.	✓
Confirmación de envío	Al ser enviado el mensaje con todos los datos respectivos, el sistema devuelve la confirmación del proceso de envío.	✓

Fuente: Autores

5.2.5 Prueba 5: Costos de transmisión

En esta prueba se analizan los costos de transmisión generados al transmitir los datos. *GSM/GPRS* es una tecnología que cobra por el volumen de datos transmitidos y no por el tiempo de conexión a la red, por lo que se hace necesario sensar el tamaño de los paquetes que se envían.

El sensado del volumen de datos se realiza con un software llamado "*ethereal*". En la siguiente figura se muestra una tabla con los datos transmitidos, junto con su peso respectivo teniendo en cuenta que los datos viajan encapsulados en paquetes que identifican los datagramas *TCP/IP*.

Lugar del *PC* (Estación Central de Información): Edificio Civil, **UIS**.

Lugar del *Modem* (cliente): Barrio **UNIVERSIDAD**

Fecha: 14 de diciembre de 2006

Hora de inicio de la prueba: 17:18:37

Número de datos enviados: 16

Tabla 45. Prueba 5: envío de paquetes de datos

Envío No	Dato enviado	Peso del paquete con el dato encapsulado (bytes)
1	dato 1	60
2	dato 2	60
3	dato 3	60
4	122222	62
5	3333333	62
6	4444444	62
7	122222	62
8	3333333	62
9	555555	62
10	1234567	62
11	3210123	62
12	0000000	62
13	1230007	62
14	9874561	62
15	4568745	62
16	1342222	62

Fuente: Autores

A través de esta prueba se desea estimar el precio aproximado en la transmisión de los datos por concepto de las mediciones de los contadores de agua. Sabiendo que una medición normal comprende un número de 7 dígitos, la cual según los datos tabulados equivale a 62 *bytes*, y tomando como referencia el costo asignado actualmente por Movistar-Colombia de **7 \$/Kbyte**, se puede deducir que el precio por transmitir una medición equivale teóricamente a **\$ 0.434**; conociendo que el número de contadores de agua en Bucaramanga actualmente es de aproximadamente 195000 según los datos adquiridos de la *AMB (Acueducto Metropolitano de Bucaramanga)*, se puede observar que el precio por transmitir las mediciones de todos los contadores de agua en la ciudad equivale a **\$ 84630**, un precio realmente bajo por el servicio prestado.

Tabla 46. Evaluación de los resultados de la prueba 5.

✓ Aprobado		✗ No aprobado	
Variables de la prueba	Criterio de aceptación	Resultados	
Costos de transmisión	Los costos de transmisión deben ser bajos.	✓	

Fuente: Autores

6 CONCLUSIONES

- ✚ Con este proyecto se logró diseñar e implementar un sistema que permite **realizar la transmisión de las mediciones** desde los contadores de agua -de forma inalámbrica- hasta una estación central de información, utilizando una de las tecnologías de vanguardia existentes en Colombia, como lo es la red *GSM/GPRS*, cuya infraestructura es ofrecida por cualquiera de los operadores celulares más importantes del país (*Tigo, Movistar** o *Comcel*). Estos datos son almacenados y procesados, para luego ser visualizados desde cualquier lugar del mundo usando Internet. Este modelo puede ser utilizado también para enviar la información de consumo de los medidores de gas, electricidad o cualquier otra variable.
- ✚ Como la plataforma *GSM/GPRS* ya está implementada actualmente en Bucaramanga y Colombia por los operadores celulares, no se hace necesario comprar la "infraestructura de transmisión", ni la programación de equipos para el enrutamiento de los datos hasta la estación central de información, lo cual representa una **ventaja económica** en el momento de implementar este sistema comercialmente. Además los costos generados por usar la red son realmente "bajos", debido básicamente a que:
 - ☑ La tecnología *GPRS* realiza el cobro sólo por la cantidad de paquetes que se envían o reciben y no por el tiempo de conexión a la red.
 - ☑ La cantidad de bytes necesarios para representar la información de consumo de un usuario (siete números que representan lo consumido), junto con las cabeceras necesarias para la transmisión de paquetes es "pequeña", alrededor de 62 bytes.

Según las observaciones realizadas con *ethereal*[‡], en 62 bytes es posible empaquetar la información de consumo de un mes (de un usuario), y tomando como referencia el precio de \$ 7/kByte, asignado actualmente por *Movistar* para la transmisión de paquetes a través de la red *GSM/GPRS* en Colombia, se puede estimar que el costo por enviar los datos de consumo de un cliente es de \$ 0,434. Alrededor de 195000 contadores de agua existen actualmente en

* En este proyecto las diferentes pruebas se realizaron utilizando la infraestructura de red ofrecida por *Movistar*.

† Infraestructura de transmisión comprende la etapa entre el *Modem* y la estación central de información o viceversa.

‡ *Ethereal* es un software que permite realizar diversas mediciones de tráfico en la red

Bucaramanga según el *AMB (Acueducto Metropolitano de Bucaramanga)*, por lo que los gastos generados al transmitir todos los datos de consumo de la ciudad serían de aproximadamente \$ 84630, que es un costo “realmente bajo”. Y aunque es de señalar que estos cálculos se realizan sin tener en cuenta la transmisión de las “confirmaciones de llegada” y las posibles retransmisiones y acuses implementados por *TCP* (para mantener la confiabilidad del sistema), las **ventajas económicas por implementación y transmisión son notorias**.

- ⊕ El sistema diseñado, transmite los datos de las mediciones con el “mínimo de errores”, garantizando en lo posible la entrega de la información a través de la “confirmación de llegada” y de forma “rápida”, con un tiempo promedio de transmisión de *1 segundo*[†]. *GPRS* puede alcanzar tasas de transferencia “teóricas” de hasta 144 kbit/s, y aunque otras tecnologías como *Wi-Fi* (11 Mbit/s) o *Bluetooth* (720 kbit/s) presentan mayor capacidad, funciona adecuadamente a las necesidades de este proyecto.
- ⊕ *Java* es una herramienta muy versátil, a través de la cual se pueden establecer comunicaciones entre un cliente y un servidor usando *sockets*. El API *JDBC* de *Java* permite realizar conexiones y ejecutar sentencias *SQL* en una base de datos, a la cual se le van insertando[‡] las mediciones que van llegando a través del *socket* implementado en el *PC* de la estación central de información.
- ⊕ En este trabajo se implementó la configuración del *Modem* en modo activo, en la cual este dispositivo es el encargado de establecer la comunicación con la red *GSM/GPRS*, e indirectamente con la estación central de información. Se cumplió con los objetivos propuestos, al “diseñar un sistema que permitiera transmitir en forma inalámbrica, los datos leídos desde un medidor de agua hasta una central de procesamiento”. Y aunque éste presente algunos puntos a mejorar, tales como: configuración del **Modem en modo espera**, establecimiento de **parámetros de seguridad** en la transmisión de la información, **optimización por consumo de potencia**, y el mejoramiento en los tiempos de conexión, transmisión y desconexión, sirve como punto de partida a otros proyectos basados en sistemas de telemetría.

* Ver capítulo 5, prueba 1: datos erróneos en la transmisión. En las pruebas realizadas no se halló ningún error en la transmisión y recepción de los datos, mas sin embargo se hace uso de la expresión “mínimo de errores” para **NO** causar la impresión en lector que este sistema es perfecto.

† Ver capítulo 5, prueba 2: envío de datos desde barrios de Bucaramanga

‡ Ver capítulo 5, prueba 3: creación e inserción de información en la base de datos

7 OBSERVACIONES

- ⊕ El proyecto “sistema de divulgación e información de actividades académicas y culturales universitarias mediante SMS” [14] fue una guía útil, por su buena organización y desarrollo de ideas.
- ⊕ El “proceso unificado de desarrollo de software” [1], es una herramienta de diseño eficiente, que utiliza un modelo iterativo que va corrigiendo errores en cada uno de sus flujos, evolucionando hasta el diseño más conveniente.
- ⊕ La página de visualización de los datos en Internet, puede ser mejorada al agregar otras funciones que hagan más agradable su contenido.
- ⊕ *Ethereal* es una herramienta, a través de la cual se pueden capturar los datos que van llegando a través de Internet por un puerto específico y desde una dirección IP específica. En este proyecto se usó este software para capturar los datos *TCP /IP* que eran enviados desde el Modem hasta un PC sobre Internet. Éste realiza el análisis de cada paquete que va llegando, especificando cada una de las partes del datagrama con sus propiedades específicas.
- ⊕ El puerto a usar para la recepción de los datos desde Internet, debe ser un número entre 1 y 65535 (en este proyecto se usó el puerto 10011).
- ⊕ En un principio, dentro del diseño fue escogido “servlets” como posible herramienta de apoyo a los lenguajes *HTML* y *PHP*, pero con el desarrollo del proyecto se hizo notorio que estos últimos contenían las funciones se creían necesarias del primero.
- ⊕ Se hace relación a la red *GSM/GPRS* para hacer énfasis que la tecnología *GPRS* se implementa sobre las redes existentes *GSM*.

8 RECOMENDACIONES

- ✚ Es importante tener conocimientos básicos sobre los lenguajes de programación necesarios en la programación del sistema, con el fin de poder implementar los diversos diagramas de flujo de cada etapa, subetapa y fase.
- ✚ Es **necesario** primero abrir el *socket* en el *PC* (servidor), y luego abrir el *socket* en el *Modem* (cliente), si se desea establecer una conexión exitosa entre el *Modem* y el *PC* para la transmisión de los datos, ya que en esta forma el *PC* va a estar a la espera de una conexión por parte de un cliente. Cabe señalar que además es necesario tener acceso a la red de Internet, así como disponibles todos los servicios *TCP/IP* en el servidor.
- ✚ Para poder visualizar la información de los datos de las mediciones en Internet, es necesario crear un servidor web con una dirección *IP* pública, de tal forma que esta pueda ser vista desde cualquier parte del mundo.
- ✚ Todos los modelos propuestos pueden ser estudiados más a fondo por algún otro diseñador que desee mejorarlas o implementarlas.
- ✚ Los interesados en diseñar y/o implementar sistemas de telemetría (u otro tipo) en algún proceso, deberían empezar haciendo una revisión del estado del arte, que les permita conocer si a nivel mundial existen modelos que cumplan los requerimientos demandados, y que les puedan servir como guía en el desarrollo del mismo.
- ✚ Para la elección de la infraestructura de **transmisión** de la información, se debe realizar un reconocimiento local e incluso nacional, de los sistemas implementados que puedan ser de utilidad, para evitar inversiones innecesarias, así como la posible migración* de las tecnologías para evitar que el proyecto se vuelva obsoleto en poco tiempo.

* En los anexos A y B se realiza un resumen con las principales características de las redes inalámbricas y celulares respectivamente. Este último presenta además la posible migración de las redes celulares, útil si el lector piensa implementar un proyecto que haga uso de alguna de estas.

- ⊕ Al hacer uso de la red *GSM/GPRS* para la transmisión de los datos en cualquier sistema de telemetría, se emplea Internet, lo que representa un cierto grado de vulnerabilidad o inseguridad, y un punto a considerar con detenimiento si la información es importante, por lo que se deben implementar mecanismos de seguridad que le den más confiabilidad al sistema.
- ⊕ Los sistemas de telemetría inalámbrica ganan día a día más terreno, y actualmente existen muchas alternativas en la implementación de los mismos, según los requerimientos que se tengan. *Zigbee** es una tecnología inalámbrica ampliamente utilizada en domótica y sistemas donde no se requiera transferir un gran volumen de datos, debido a los bajos costos de estos dispositivos, así como a su eficiencia energética, por lo que se convierte en una opción interesante a considerar en el momento de realizar un diseño.

* El anexo A expone las características más relevantes de la tecnología *Zigbee*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

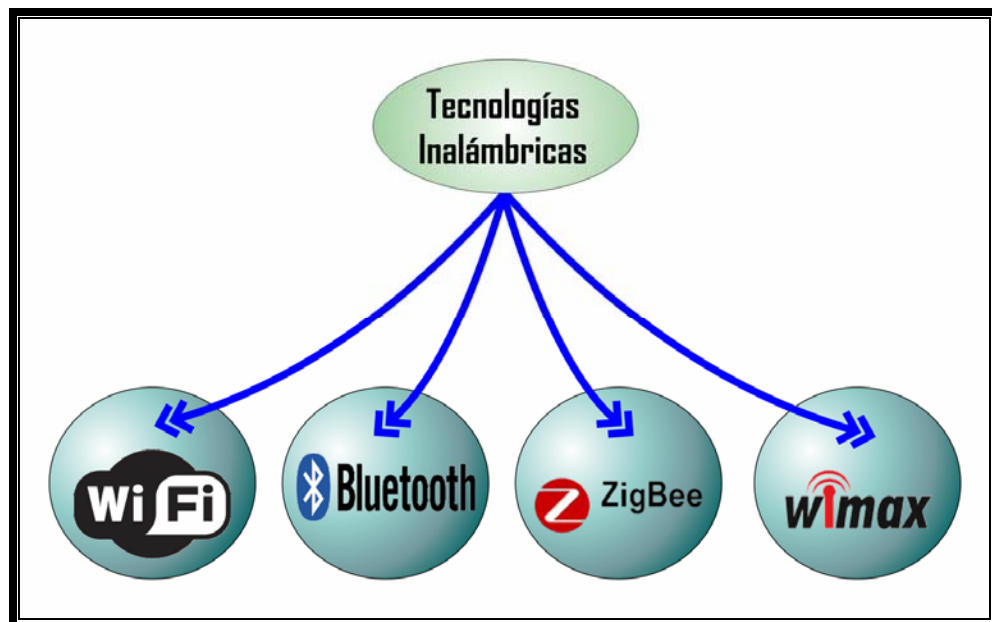
- [1]. BROOCH Grady, JACOBSON Ivar y RUMBAUGH James. EL PROCESO UNIFICADO DE DESARROLLO DEL SOFTWARE. Addison Wesley. Madrid, 2000.
- [2]. sistemas de telemetría. En:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Telemetr%C3%ADa>
- [3]. Denver Water. En:
http://www.cognos.com/company/success/denver_water.pdf
- [4]. Nuri Telecom. En:
<http://www.nuritelecom.com/>
- [5]. Sistemas AMR basados en PLC. En:
http://www.cypsela.es/revista/revistas_anteriores/revista_201/articulos/art4.html
- [6]. SAAVEDRA Moreno, Lisa y CUESTA Velásquez Andrés Jaime: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA AUTOMATIZAR LOS PROCESOS DE FACTURACIÓN EN LA COMPAÑÍA DE ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA. Proyecto de pregrado Universidad del Valle y Corporación Universitaria de Investigación y Desarrollo. 2003, 125 páginas.
- [7]. BOBADILLA Jesús, SANCHO Adela: Comunicaciones y bases de datos con Java a través de ejemplos. Editorial: Alfaomega Ra-ma Mexico D.F.
- [8]. HOULETTE Forrest: Fundamentos de SQL. Editorial McGraw-Hill interamericana editores s.a Mexico D.F.

- [9]. GUTIERREZ Abraham: PHP5 a través de ejemplos.. Editorial: Alfaomega Ra-ma Mexico D.F.
- [10]. MORRISON Michael: Diseño en HTML y XML. Editorial: McGraw-Hill interamerica de España.
- [11]. SILBERCHATZ Abrahan, KORTH Henry: Fundamentos de bases de datos. Editorial: McGraw-Hill.
- [12]. NICHOLS Randall: Seguridad para Comunicaciones Inalámbricas. Impreso en España. Ed McGraw-Hill.
- [13]. MUÑOZ David: Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal. Impreso en México. Ed. ALFAOMEGA.
- [14]. PULIDO Castellanos, Oscar y ESPINOSA Carreño María Alexandra: SISTEMA DE DIVULGACIÓN E INFORMACIÓN DE ACTIVIDADES ACADÉMICAS Y CULTURALES UNIVERSITARIAS MEDIANTE SMS (DINAMICA). Proyecto de pregrado Universidad Industrial de Santander. 2006, 389 páginas.

ANEXO A: REDES INALÁMBRICAS IEEE 802.1x

En este apartado se hace un resumen de las principales características de algunos estándares *IEEE* inalámbricos como: *Wi-Fi (802.11b)*, *Bluetooth (802.15.1)*, *Zigbee (802.15.4)* y *WiMAX (802.16d)*.

Figura 1. Tecnologías inalámbricas (IEEE 802.1x) a considerar



Fuente: Autores

1 WI-FI (IEEE 802.11b)



La *Red de Área Local Inalámbrica (Wireless Local Area Network, WLAN)* es un sistema de comunicación de datos inalámbrico, utilizado como alternativa a la *Red de Área Local (Local Area Network, LAN)* cableadas o como extensión de éstas. Utiliza tecnología de *radiofrecuencia* que permite movilidad a los usuarios al eliminar las conexiones cableadas.

Características

- ▶ *Movilidad:* permite transmitir información en tiempo real en cualquier lugar de una organización, a cualquier usuario.
- ▶ *Facilidad de instalación:* al no utilizar cables, se evitan obras para tirar cable por muros y techos, facilitando la instalación de equipos, así como reducción del tiempo empleado en este proceso.
- ▶ *Flexibilidad:* puede alcanzar lugares donde el acceso por cable es difícil, costoso o incluso peligroso, tales como: parques naturales, reservas o zonas escarpadas [1].

Normalización IEEE

Actualmente son cuatro los estándares reconocidos dentro de esta familia: la especificación **802.11** original; **802.11a**, que define una conexión de alta velocidad basada en *ATM*; **802.11b (Wi-Fi)**, el cual goza de más amplia aceptación, y **802.11g**.

WLAN 802.11

En junio de 1997 el *Instituto de Ingenierías Eléctrica y Electrónica (Institute of Electric and Electronics Engineers, IEEE)* ratificó el estándar para *Redes de Área Local*

Inalámbricas (Gíreles Local Area Network, WLAN) IEEE 802.11, así como el funcionamiento y la interoperabilidad entre este tipo de redes. Este opera en la banda de 2,4 GHz, alcanza velocidades de hasta 2 Mbit/s. Este usa modulación de señal de *Espectro Expandido por Secuencia Directa (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)*, o de *Espectro Expandido por Salto de Frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)*.

Existe en las redes *WLAN* la dificultad en detectar la portadora, porque esta tecnología utiliza *Espectro Expandido (Spread Spectrum)*, así como *Acceso por División de Código (Code Division Multiple Access, CDMA)*, lo que conlleva a que el medio radioeléctrico sea compartido, sea por secuencia directa (*DSSS*) o por saltos de frecuencia (*FHSS*). El acceso por código (*CDMA*) implica que pueden coexistir dos señales en el mismo espectro utilizando códigos diferentes, y esto para un receptor de radio implica detectar la portadora inclusive con señales distintas de las de la propia red inalámbrica.

WLAN 802.11b (Wi-Fi)

En 1999, se aprobó el estándar *802.11b*, una extensión del *802.11* para *WLAN* empresariales, con velocidades de hasta 11 Mbit/s y un alcance de 100 m, suficientes para un entorno de oficina o residencia; este emplea la banda *ISM (Industrial, Scientific and Medical)* de 2,4 GHz, pero en lugar de una simple modulación de radio digital y salto de frecuencia, utiliza una la modulación lineal compleja (*DSSS*). Esto le permite mayor velocidad, pero presenta menor seguridad.

WLAN 802.11g

El *Instituto de Ingenierías Eléctrica y Electrónica (Institute of Electric and Electronics Engineers, IEEE)* aprobó en el año 2003 en el estándar *802.11g*, compatible con *802.11b*, con velocidades de 22 Mbit/s y capaz de alcanzar hasta 54 Mbit/s.

WLAN 802.11a (Wi-Fi 5)

El *Instituto de Ingenierías Eléctrica y Electrónica (Institute of Electric and Electronics Engineers, IEEE)* ratificó en julio de 1999 el estándar *802.11a*, con una modulación *QAM-64* y codificación por *Multiplexación por División de frecuencia Ortogonal (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)*, el cual alcanza velocidades de hasta 54 Mbit/s en la banda de 5 GHz, menos congestionada y con menos interferencias (Comparada con la banda de 2.4 GHz), pero con un alcance limitado a 50 m, lo que implica tener que montar más puntos de acceso (*Access Points*) [2].

Seguridad

Las redes inalámbricas son inseguras porque el medio de transporte que emplean es el aire, por lo tanto para otorgar un cierto grado de seguridad en las comunicaciones los esfuerzos van encaminados en dos sentidos: por una parte está el *cifrado o encriptación* de los datos que se transmiten y en otro la *autenticación* entre los diversos usuarios de la red. En general se utiliza *WEP (Wired Equivalent Privacy)*, que es un mecanismo de encriptación especificado en el estándar *IEEE 802.11* para garantizar la seguridad de las comunicaciones entre los usuarios y los puntos de acceso; y para la autenticación toma como base el protocolo de verificación *EAP (Extensible Authentication Protocol)*, que es flexible y permite el uso de diferentes algoritmos. La clave de acceso estándar es de 40 *bits*, pero existe otra opcional de 128 *bits*, y se asigna de forma estática o manual (no dinámica), tanto para los clientes, que comparten todos el mismo conjunto de cuatro claves predeterminadas, como para los puntos de acceso a la red, lo que genera algunas dudas sobre su eficacia. *WEP* utiliza un esquema de cifrado simétrico en el que la misma clave y algoritmo se utilizan tanto para el cifrado de los datos como para su descifrado [1].

2 BLUETOOTH (802.15.1)



Es una norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos (celulares, cámaras, computadores portátiles, *Palm*, *Pocket PC*, entre otros) mediante una conexión segura de radiofrecuencia. El alcance que logran estos dispositivos es de aproximadamente 10 *m* (opcionalmente 100 *m*). Los principales objetivos que pretende conseguir esta norma son:

- ▶ Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- ▶ Eliminar cables y conectores entre éstos.
- ▶ Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre los equipos personales.

La especificación Bluetooth define un canal de comunicación de máximo 720 *Kbit/s* con rango óptimo en 10 metros. La frecuencia de radio en la cual opera está en el rango de 2.4 a 2.48 *Ghz* usando modulación de *Espectro Expandido* y *Saltos de Frecuencia* con posibilidad de transmitir en *Full Duplex* con un máximo de 1600 *saltos/s*. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1 *Mhz*, lo cual le otorga seguridad y robustez.

La potencia de salida para transmitir a una distancia máxima de 10 metros es de alrededor de 0 *dBm* (1 *mW*), mientras que la versión de largo alcance transmite entre -30 y 20 *dBm* (100 *mW*). Para lograr un bajo consumo, así como bajo costo, se implementó todo el sistema en un solo chip utilizando circuitos *CMOS*. De esta forma, se crea una solución de alrededor de 9x9 *mm*² que consume aproximadamente 97% menos energía que un teléfono celular común.

Esta tecnología comprende hardware, software y requerimientos de interoperabilidad, por lo que en su desarrollo ha sido necesaria la participación de los principales fabricantes en los sectores de las telecomunicaciones y la informática, tales como: *Ericsson*, *Nokia*, *Toshiba*, *IBM*, *Intel* entre otros.

Arquitectura Hardware

El hardware que compone el dispositivo Bluetooth esta compuesto por dos partes esenciales: un *dispositivo de radio*, encargado de modular y transmitir la señal y un *controlador digital*. Este último compuesto por una *CPU*, por un *Procesador Digital de Señales (Digital Signal Processor, DSP)* y de las interfaces con el dispositivo anfitrión.

La *CPU* del dispositivo se encarga de atender las instrucciones relacionadas con Bluetooth del dispositivo anfitrión, para así simplificar su operación. Para esto, en la *CPU* corre un software denominado *Administrador del Puerto (Link Manager)* que tiene la función de comunicarse con otros dispositivos por medio del protocolo *LMP*.

El *Controlador del Puerto (Link Controller, LC)*, está encargado de hacer el procesamiento de la banda base y del manejo de los protocolos *ARQ* y *FEC* de la capa física. Además, se encarga de las funciones de transferencia (tanto asíncrona como síncrona), codificación de audio y encriptación de datos.

Entre las tareas realizadas por el *LC* y el *Link Manager*, se destacan las siguientes: envío y recepción de datos, empaginamiento y peticiones, determinación de conexiones, Autenticación, negociación y determinación de tipos de enlace, determinación del tipo de cuerpo de cada paquete.

3 ZIGBEE (802.15.4)



Una alianza sin ánimo de lucro entre 25 empresas, la mayoría fabricantes de semiconductores, buscaba una alternativa inalámbrica de bajo costo, dando como resultado la creación de un nuevo estándar que ha sido bautizado como "*ZigBee*".

Está concebido como una forma de transmisión de datos a velocidades inferiores (que el *Bluetooth*), pero asegurando un aumento en la autonomía de los equipos, además de un descenso en los costos de fabricación y un alcance similar al de la tecnología Wi-Fi. Sus primeras aplicaciones prácticas auguran que se convertirá en toda una revolución en el mundo de la *domótica*.

El objetivo de esta tecnología es ser utilizado no tanto para la transmisión de voz y datos, sino en tareas más modestas, como la conexión de pequeños dispositivos que *funcionan continuamente* y que necesitan la transmisión de *pequeños paquetes de datos*. Se ha intentado que sus dispositivos sean lo más reducido posible, y que además, sus baterías puedan durar hasta diez años sin necesidad de cambios, ni de recargas. Esta eficiencia a nivel energético es posible esencialmente, porque las soluciones *ZigBee* se pasan la mayor parte del tiempo en suspensión, activándose solamente cuando son necesarias.

Velocidad y alcance

Esta tecnología emite en la banda *ISM* de 2,4 GHz, ofrece una velocidad de transmisión de entre 20 y 250 *Kbit/s*, dependiendo de la frecuencia que se utilice. En 2,4 GHz puede utilizar 16 canales de 5 MHz para alcanzar 250 *Kbit/s*, mientras en 915 MHz (banda exclusivamente norteamericana) los 10 canales de 2 MHz consiguen llegar a los 40 *Kbit/s* y en 868 MHz (sólo para Europa) el único canal disponible ofrece solamente 20 *Kbit/s*.

ZigBee se caracteriza por una rapidez de conexión (y desconexión) de las redes, que puede realizar en aproximadamente 30 *ms* (mientras tecnologías como *Bluetooth* necesita hasta 2 *s*).

La distancia de propagación de su señal, está entre 10 y 100 *m*. Se puede utilizar para cubrir grandes superficies, ya que cada chip *ZigBee* actúa como repetidor, lo que aumenta exponencialmente su alcance. Puede formar redes de hasta 65.536 *nodos*, lo que le da una gran flexibilidad. Lo anterior es posible debido a que utiliza el sistema de modulación de *Espectro Extendido por Secuencia Directa (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)*, que le permite crear grandes redes debido a que no necesita que los aparatos estén sincronizándose continuamente [3].

4 WIMAX (802.16d)



Intercomunicación Mundial para acceso por microondas (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos (802.16d) diseñado para ser utilizado en áreas de hasta 48 km de radio y a velocidades de hasta 70 Mbit/s, utilizando tecnología portátil LMDS.

Integra la familia de estándares IEEE 802.16 y el estándar HyperMAN del organismo de estandarización europeo ETSI. El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10 a 66 GHz. La versión 802.16a, ratificada en marzo de 2003, utiliza una banda del espectro más baja y estrecha, de 2 a 11 GHz, facilitando su regulación. Requiriendo únicamente del despliegue de Estaciones Base (Base Station, BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de prestar servicio a unas 200 Estaciones Suscriptoras (Subscriber Station, SS) que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos.

Su instalación es sencilla y rápida (culminando el proceso en aproximadamente dos horas) y su precio competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico como Wi-Fi.

WiMAX se sitúa en un rango intermedio de cobertura entre las demás tecnologías de acceso de corto alcance y ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana.

El WiMAX Forum es un consorcio de empresas (inicialmente 67 y hoy en día más de 100) dedicadas a diseñar los parámetros y estándares de esta tecnología, y a estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados. Después de la fase de pruebas y estudios, se espera comenzar a ofrecer servicios de conexión a Internet a 4 Mbit/s a partir de 2007, incorporando WiMAX a los ordenadores portátiles y PDAs [4].

5 COMPARACIÓN TECNOLOGÍAS

Orígenes

El origen de las *Redes de Área Local Inalámbrica (Wireless Local Area Network, WLAN)* se remonta a la publicación en 1979 de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de *IBM* en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados, publicados por el *Instituto de Ingenierías Eléctrica y Electrónica (Institute of Electric and Electronics Engineers, IEEE)* pueden considerarse como el punto de partida de esta tecnología.

Las investigaciones siguieron adelante tanto con *infrarrojos* como con *microondas*, donde se utilizaba el esquema de *Espectro Expandido (spread spectrum)*. En mayo de 1985, y tras cuatro años de estudios, la *Comisión de Comunicaciones Federales (Federal Communications Commission, FCC)*, agencia federal del Gobierno de *Estados Unidos* encargada de regular y administrar en materia de telecomunicaciones, asignó las bandas *ISM (Industrial, Scientific and Medical)* 902-928 MHz, 2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz para uso en redes inalámbricas basadas en *Espectro expandido (Spread Spectrum, SS)*, con las opciones de *Secuencia Directa (Direct Sequence, DS)* y *Salto de Frecuencia (Frequency Hopping, FH)*. La asignación de esta banda de frecuencias propició una mayor actividad en el seno de la industria y ese respaldo hizo que las *WLAN* empezaran a dejar el entorno del laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado.

Comparaciones

Las *Redes de Área Local Inalámbricas* presentan numerosas variantes, aquí se han considerado esencialmente cuatro de estas: *Wi-Fi (802.11b)*, *Bluetooth (802.15.1)*, *Zigbee (802.15.4)* y *WiMAX (802.16d)*. Todas estas tecnologías operan en la banda *ISM* por lo que no necesitan licencia para su instalación.

A continuación se presenta una tabla comparativa entre las diversas tecnologías aquí expuestas con algunas de sus características más relevantes.

Tabla 1. Comparación estándares de comunicación inalámbrica (802.1x)

	Wi-Fi	Bluetooth	Zigbee	WiMAX
Estándar	802.11 b	802.15.1	802.15.4	802.16d
Aplicaciones	Web, e-mail, video	Transmisión de datos	Monitoreo, control	Web, e-mail, video
Autonomía (en días)	5	5	100 - 1000	1-7
Ancho de banda (KB/s)	11.000	720	20 - 250	70.000
Alcance de transmisión (m)	1 - 100	1 - 10	1 - 100	48.000

Fuente: Autores

Wi-Fi con estándar *IEEE 802.11b* presenta las siguientes características:

- ▶ Utilizado principalmente para navegar en la *Web*, revisar correo electrónico y visualizar videos en la red.
- ▶ Su autonomía o tiempo de operación del módulo antes de descargarse es de aproximadamente *5 días*.
- ▶ La tasa de transmisión es de aproximadamente *11 Mbit/s*.
- ▶ El alcance de transmisión es de alrededor de *100 m*.

Bluetooth con estándar *IEEE 802.15.1* presenta las siguientes características:

- ▶ Utilizado principalmente en la transmisión de datos.
- ▶ Su autonomía o tiempo de operación del módulo antes de descargarse es de aproximadamente *5 días*.
- ▶ La tasa de transmisión es de aproximadamente *720 Kbit/s*.
- ▶ El alcance de transmisión es de alrededor de *10 m*.

Zigbee con estándar *IEEE 802.15.4* presenta las siguientes características:

- ▶ Utilizado principalmente para monitoreo y control (domótica).
- ▶ Su autonomía o tiempo de operación del módulo antes de descargarse esta entre 100 y 1000 días aproximadamente.
- ▶ La tasa de transmisión está entre 20 y 250 *Kbit/s* aproximadamente.
- ▶ El alcance de transmisión es de alrededor de 100 m.

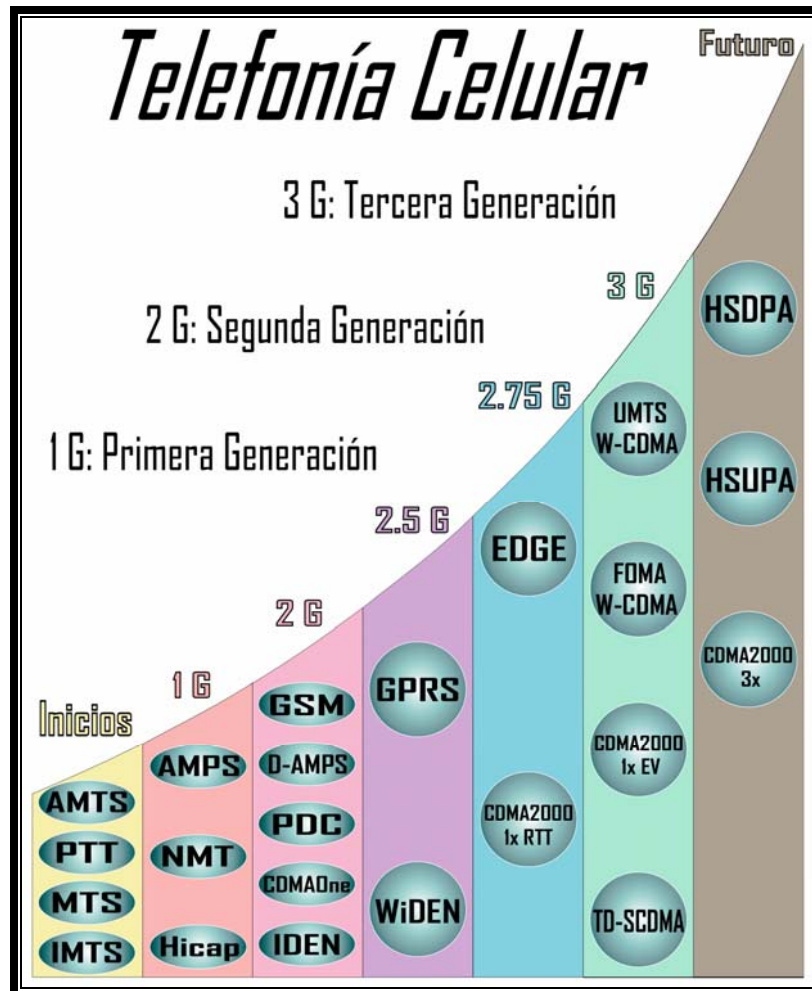
WiMAX con estándar *IEEE 802.16d* presenta las siguientes características:

- ▶ Utilizado principalmente para navegar en la *Web*, revisar correo electrónico y visualizar videos en la red.
- ▶ Su autonomía o tiempo de operación del módulo antes de descargarse está entre 1 y 7 días aproximadamente.
- ▶ El ancho de banda es de aproximadamente 70 *Mbit/s*.
- ▶ El alcance de transmisión es de alrededor de 48 Km.

ANEXO B: TELEFONÍA CELULAR

En este anexo se realiza una recopilación de las principales características de las diferentes generaciones celulares. En los **inicios**: *AMTS, PTT, MTS* e *IMTS*. En la primera generación (**1G**): *NMT* y *AMPS*. En la segunda generación (**2G**): *GSM, D-AMPS, CDMAOne* y *PDC*. En la generación intermedia **2.5G**: *GPRS*. En la generación intermedia **2.75G**: *CDMA2000 1xRTT* y *EDGE*. En la tercera generación (**3G**): *UMTS, FOMA, CDMA2000 1xEV* y *TD-SCDMA*. Y tecnologías futuras como: *HSDPA, HSUPA* y *CDMA2000 3x*.

Figura 2. Generaciones Celulares

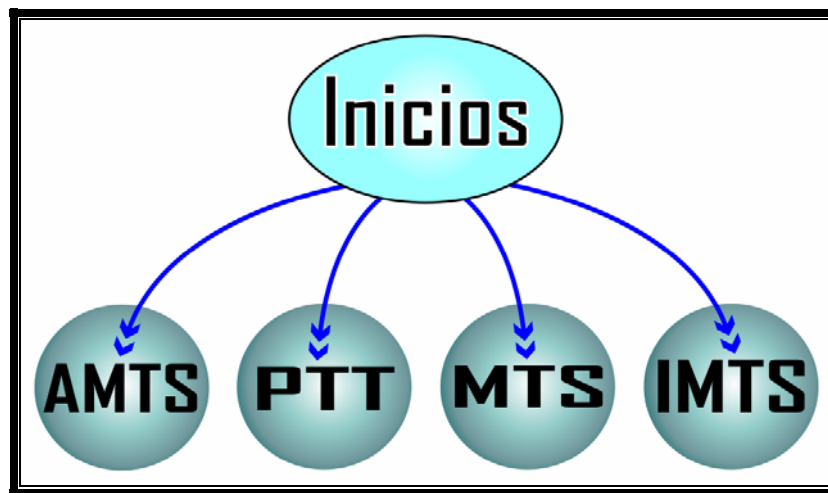


Fuente: Autores

1 INICIOS

Los inicios de la telefonía celular ocurren alrededor de los años 50. Aparece en diversos lugares del mundo y en todos los casos, con tecnología totalmente análoga, de gran tamaño y con capacidad muy limitada para los usuarios. Hacen parte de esta generación los sistemas: *AMTS*, *PTT*, *MTS* e *IMTS*.

Figura 3. Inicios telefonía celular



Fuente: Autores

1.1 AMTS (Advanced Mobile Telephone System)

El *Sistema de Telefonía Móvil Avanzada (Advanced Mobile Telephone System, AMTS)*, fue un método de radiocomunicación, principalmente usado en los sistemas de radio portátiles de Japón. Este operaba en la banda de los 900 MHz [5].

1.2 PTT (Push To Talk)

Presionar para hablar (Push to Talk, PTT), es un método para hablar en líneas "half-duplex" (un solo sentido) de comunicación, presionando un botón para hablar, y liberando este para escuchar.

PTT era una característica que estaba disponible en muchos equipos de radio de aquel tiempo, gozó en ese entonces de gran popularidad; taxistas y policías entre otros, hicieron amplio uso de este sistema.

Diferentes empresas como *Motorola*, *Nokia*, *Verizon*, *Ericsson*, *Siemens*, entre otras utilizan actualmente sistemas basados en *PTT* (mejorados) para prestar servicios de comunicación inalámbrica [6].

1.3 MTS (Mobile Telephone System)

El *Sistema de telefonía móvil (Mobile Telephone System, MTS)* fue uno de los estándares de telefonía móvil más antiguos conocidos. Este sistema era monitoreado por un operador que administraba la comunicación en ambas direcciones; si se necesitaba realizar una llamada desde un teléfono fijo, esta era direccionada al operador móvil, quien "*enrutaba*" esta al teléfono deseado; sin embargo para realizar una llamada desde un teléfono celular, se debía pasar a través del operario móvil, el cual le preguntaba el número del móvil tanto del origen como del destino.

Estos teléfonos fueron usualmente "*half-duplex*" (un solo sentido) sobre un canal de radio sencillo *VHF (Very high frequency)* o *UHF (Ultra high frequency)*.

Este servicio originado con *AT&T*, fue el primero implementado en St. Louis (*USA*) el 17 de junio de 1946. El equipo pesaba alrededor de 40 *Kg*, y había sólo tres canales para todos los usuarios del área metropolitana. Este servicio fue usado hasta finales de 1980 en gran parte de Norte América.

Este protocolo fue reemplazado por el *Sistema de Telefonía Móvil Mejorado (Improved Mobile Telephone System, IMTS)*, el cual es citado a continuación [7].

1.4 IMTS (Improved Mobile Telephone System)

El *Sistema de Telefonía Móvil Mejorado (Improved Mobile Telephone System, IMTS)*, es un sistema de comunicación móvil analógico que fue implementado en los años 60, con muy poco éxito.

Surge como necesidad de mejorar los sistemas anteriores, que emitían y recibían en la misma banda de frecuencia y, que por lo tanto, necesitaban pulsar un botón para alternar entre emisor y receptor

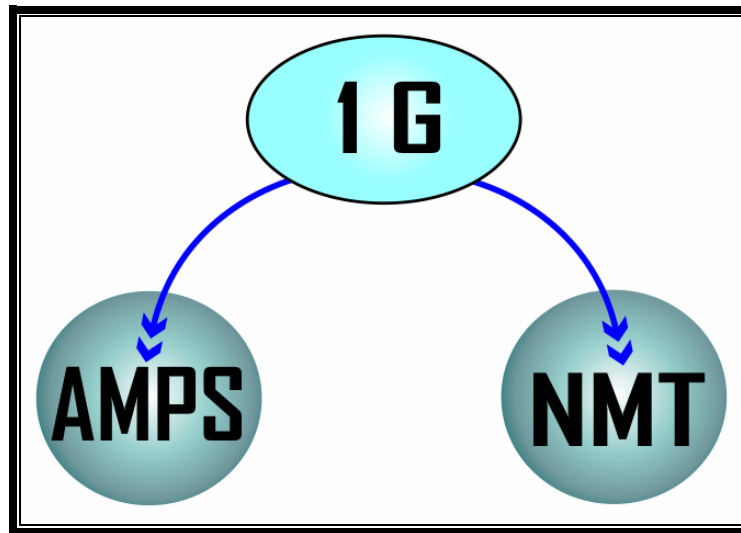
IMTS usaba un transmisor de muy alta potencia colocado en la cima de una montaña. Por lo que a los sistemas *IMTS* se tenían que implantar muy lejos unos de otros para evitar las interferencias. Esta fue una de las principales razones de su fracaso.

A diferencia de los sistemas *Push to Talk*, *IMTS* no emitía y recibía en la misma banda de frecuencias. Esto eliminaba la necesidad de pulsar un botón para alternar la direccionalidad de la comunicación. *IMTS* ponía a disposición de los clientes 23 canales espaciados entre 150 y 450 MHz. Este número es pequeño para una población medianamente grande, por lo que solía ser costoso el lograr obtener un tono de marcado [8].

2 1G (PRIMERA GENERACIÓN)

Se puede decir que en esta generación es donde comienza realmente la *telefonía celular*. Se presentan dos sistemas implementados: *NMT* y *AMPS*, estos aportan grandes avances en los medios de comunicación de su época, pero es realmente *AMPS* quién revoluciona la forma de comunicarse.

Figura 4. Primera generación de telefonía celular (1G)



Fuente: Autores

2.1 NMT (Nordic Mobile Telephone)

Telefonía Móvil Nórdica (Nordic Mobile Telephone, NMT) fue un sistema de telefonía que comenzó sus servicios en 1981 como respuesta al incremento en la congestión y altos requerimientos de las redes de telefonía móvil manual: *ARP* (150 MHz) en *Finlandia* y *MTD* (450 MHz) en *Suecia, Noruega y Dinamarca*.

NMT está basado en tecnología analógica y existen dos variantes: *NMT-450* y *NMT-900*. Los números indican las bandas de frecuencias usadas (450 MHz y 900 MHz respectivamente). *NMT-900* fue introducida en 1986 porque esta presentaba más canales que la red previa *NMT-450*.

Las especificaciones *NMT* fueron gratis y abiertas, permitiendo a muchas compañías producir hardware *NMT* y haciendo que los precios tendieran a la baja. El éxito de *NMT* se debió en gran parte a *Nokia* (en ese entonces *Mobira*) y a *Ericsson*.

El tamaño de las celdas en las redes *NMT* está en el rango de 2 a 30 *Km*. *NMT* usa transmisión *Full Duplex* (doble sentido), permitiendo recibir y transmitir voz simultáneamente. Las versiones de teléfono usados en los vehículos transmitían con una potencia de hasta 15 *Watt* (*NMT-450*) y 6 *watt* (*NMT-900*), y los teléfonos de mano hasta 1 *watt*. La velocidad de transferencia de señales en *NMT* variaba entre 600 *bit/s* y 1200 *bit/s*, usando modulación de *codificación de cambio de frecuencia rápido FFSK* (*Fast Frequency Shift Keying*).

NMT también soportaba un simple pero robusto modo de transferencia de datos llamado *Servicio de datos y mensajes DMS* (*Data and Messaging Service*) o *NMT-Text* (*Texto NMT*), el cual usaba el canal de señalización de la red para la transferencia de datos. Usando *DMS*, también era posible enviar mensajes de texto entre dos teléfonos *NMT*.

Los primeros teléfonos *NMT* fueron típicos teléfonos “*portables*”: las personas se podían mover con estos, aunque fueron más usados en vehículos.

Las redes *NMT* han sido usadas principalmente en los países nórdicos: *Nueva Zelanda*, *Eslovenia*, *Croacia*, *Bosnia*, *Países bálticos* y *Rusia*, pero también en el *medio oriente* y *Asia*. La aparición de las redes digitales tales como *GSM* han reducido la popularidad de *NMT* y algunas compañías de teléfonos de los países nórdicos han suspendido sus redes *NMT* [9].

2.2 AMPS (Advanced Mobile Phone System)

Sistema Telefónico Móvil Avanzado (*Advanced Mobile Phone System, AMPS*) es un sistema de telefonía móvil desarrollado por los laboratorios *Bell*. Se implementó por primera vez en 1982 en *Estados Unidos*. Y luego en países como *Inglaterra* y *Japón*, aunque con otros nombres, *TACS* y *MCS-L1* respectivamente.

AMPS y los sistemas telefónicos móviles del mismo tipo dividen el espacio geográfico en *celdas*, de tal forma que las *celdas* adyacentes nunca usan las mismas frecuencias, para evitar interferencias. La estación base de cada *celda* emite con una potencia relativamente pequeña (comparada con las centenas de Watts de un sistema *IMTS*). Cuanto más pequeña son las *celdas* mayor es la reutilización de frecuencias al igual

que la capacidad del sistema. Sin embargo, también requiere un mayor número de estaciones base y por tanto una mayor inversión.

Para establecer la comunicación entre usuarios que ocupan distintas celdas se interconectan todas las estaciones base a una *Oficina de Cambios de Telefonía Móvil (Mobile Telephone Switching Office, MTSO)*, también llamado *Centro de Cambio Móvil (Mobile Switching Center, MSC)*. *AMPS* usa 832 canales dobles (832 simples de bajada y otros 832 simples de subida), cada uno de ellos con un ancho de banda de 30 *KHz*. La banda de frecuencias usada va desde 824 a 849 *MHz* para los canales de transmisión y de 869 a 894 *Mhz* para los canales de recepción. No todos los canales se usan para comunicación de los usuarios, hay canales destinados a control, asignación de canales de conversación y para alertar de llamadas entrantes.

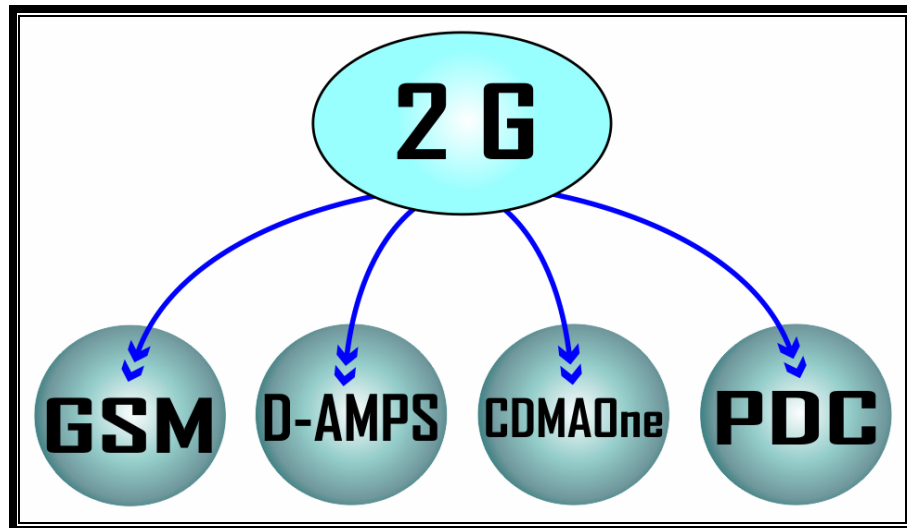
El uso de sistemas celulares presenta algunos problemas, como los que surgen si el usuario cambia de celda mientras está hablando. *AMPS* logra mantener la comunicación activa siempre y cuando haya canales disponibles en la celda que se entra. Esta transferencia de celda (*handoff*) es recibida en las distintas estaciones base y es coordinada por la *MTSO*. Y Dependiendo el modo en que se haga puede cortarse la comunicación unos 300 *ms* para reanudarse inmediatamente después o puede ser inapreciable para el usuario.

AMPS ha sido totalmente reemplazado por los sistemas digitales tales como *GSM* y *D-AMPS* (el mismo *AMPS* pero digital), pero ha sido un sistema de importancia histórica capital para el desarrollo de las comunicaciones móviles por el éxito obtenido y por las ideas novedosas que aportaba [10].

3 2G (SEGUNDA GENERACIÓN)

Esta época está enmarcada por cambios profundos en la forma de comunicarse, se pasa de la telefonía análoga a la digital. La llegada de la segunda generación de telefonía móvil ocurre alrededor de 1990, se introducen protocolos de telefonía digital que además de permitir más enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitían integrar otros servicios, que anteriormente eran independientes, en la misma señal. Tecnologías como: *GSM*, *D-AMPS*, *CDMAOne* y *PDC* hacen parte de esta.

Figura 5. Segunda generación de telefonía celular (2G)



Fuente: Autores

3.1 GSM (global System for Mobile Communications)

Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile communications, GSM), formalmente conocido como "*Grupo Especial Móvil*" (*Group Special Mobile, GSM*), es un estándar mundial para teléfonos móviles digitales. El estándar fue creado por la *CEPT* y posteriormente desarrollado por *ETSI* como un estándar para los teléfonos móviles europeos, con la intención de desarrollar una normativa que fuera adoptada mundialmente. El estándar es abierto, no propietario y evolutivo (aún en desarrollo). Es el estándar predominante en Europa, así como el más ampliamente usado en el resto del mundo.

GSM difiere de sus antecesores en que los *canales de voz* así como las *señales* son *digitales*. Y se ha diseñado así para un moderado nivel de seguridad.

GSM emplea *Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access, TDMA)* entre estaciones en un par de canales de radiofrecuencia duplex, con bajo *Salto de Frecuencia (Frequency Hopping)* entre canales.

GSM tiene cuatro versiones principales basadas en la banda en que transmite: *GSM-850 (850 MHz)*, *GSM-900 (900 MHz)*, *GSM-1800 (1.8 GHz)* y *GSM-1900 (1.9 GHz)*. *GSM-900* y *GSM-1800* son utilizadas en la mayor parte del mundo, excepto en *Estados Unidos, Canadá* y parte de *América Latina*, lugares en los que se utilizan las bandas de *GSM-850* y *GSM-1900 (1,9 GHz)*, ya que en estos lugares las bandas de 900 y 1800 MHz están ya ocupadas (por los militares).

En *GSM*, una conexión se puede dedicar tanto a voz como a datos. Una llamada de voz utiliza un *codificador GSM* específico para transmitir el sonido sobre un enlace digital de 9.6 Kbit/s a la estación base. Una conexión de *datos*, permite que el usuario utilice el móvil como un *módem* de 9.6 Kbit/s.

Las implementaciones más veloces de *GSM* se denominan *GPRS* y *EDGE*, también denominadas generaciones intermedias o *2.5G*, que conducen hacia la tercera generación *3G* o *UMTS*.

Este estándar de comunicación inalámbrica es presentado de forma más completa en el *anexo C*, que trata exclusivamente las tecnologías *GSM* y *GPRS* [11].

3.2 D-AMPS (Digital AMPS)

IS-54 e *IS-136* son sistemas de telefonía móvil, conocidos como *Sistema de Telefonía Móvil Digital Avanzada (Digital-Advanced Mobile Phone System, D-AMPS)*. Es usado en América, particularmente en los Estados Unidos y Canadá. A menudo se refieren a esta como *TDMA*, y es incorrecto referenciado a los protocolos. *IS-54* y *IS-136*, aunque usen *Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access, TDMA)* como interfase aérea.

D-AMPS usa los canales *AMPS* existentes y permite facilitar la transición entre los sistemas análogos y digitales en la misma área. La capacidad fue incrementada a comparación del sistema análogo al dividir cada par de canales de 30 kHz en tres intervalos de tiempo (*time slots*) y al comprimir digitalmente los datos de voz, aumentando tres veces la capacidad de llamadas en una celda sencilla. El sistema

digital también hizo las llamadas más seguras porque las exploraciones análogas no podían acceder las señales digitales, debido a que las llamadas eran encriptadas. Aunque el algoritmo usado (*CMEA*) se encontró luego era frágil.

IS-136 adhirió un número de características a la especificación *IS-54* original, incluyendo mensajes de texto (*Short Message Send, SMS*), conmutación de circuitos (*circuit switched data, CSD*), y protocolos de compresión mejorados.

D-AMPS está destinado a desaparecer, las redes *IS-136* en los estados Unidos pertenecen a *Cingular Wireless* y *U.S. Cellular*, y en Canadá a *Rogers Wireless*. *Cingular Wireless* y *Rogers Wireless* están actualizando sus redes de esta tecnología a *GSM/GPRS*, mientras *U.S. Cellular* está migrando a *CDMA2000*. *Rogers Wireless* removió todas las redes que operaban en 1900 MHz (*IS-136*) en el 2003, y está lentamente haciendo lo mismo con las que operan en 800 MHz tan pronto los equipos fallan.

3.3 CDMAOne (IS-95)

Estándar Provisional 95 (Interim Standard 95, IS-95), es el primer estándar de telefonía celular digital explorado por *Qualcomm*, La cual otorgó a *IS-95* el nombre de *CdmaOne*. *IS-95* es también conocido como *TIA-EIA-95*.

Este es un estándar de telecomunicaciones que utiliza *Acceso Múltiple por División de Código (Code Division Multiple Access, CDMA)* un esquema de acceso múltiple para radio digital, enviar voz, datos y señalización de datos entre los teléfonos móviles y el lugar de la celda.

CDMA es un sistema de radio digital que transmite una secuencia de bits, este permite a varios móviles compartir la misma frecuencia, diferente al *Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access, TDMA)*, usado en *GSM*. Todos los teléfonos móviles pueden ser activados al mismo tiempo, porque la capacidad de la red no se limita con el número de móviles activos. Como una gran cantidad de teléfonos pueden operar en pocas celdas, los estándares basados en *CDMA* representan una ventaja económica sobre las redes basadas en *TDMA*, u otros estándares antiguos que usaban multiplexación por división de frecuencia.

CDMAOne es usado en los *Estados Unidos, Corea del sur, Canadá, México, Israel, Venezuela* y *China*, pero está siendo reemplazado por el estándar *IS-2000 (CDMA2000)*.

3.4 PDC (Personal Digital Cellular)

Servicio Celular Digital Personal (Personal Digital Cellular, PDC) es un estándar de telefonía móvil desarrollado y usado exclusivamente en Japón, el estándar fue definido por el *RCR* (Después *ARIB*) en abril de 1991.

Así como *D-AMPS* y *GSM*, *PDC* usa *TDMA*. *PDC* utiliza una portadora de 25 kHz, 3 intervalos de tiempo (*time slots*), modulación *pi/4-DQPSK* y una tasa de 11.2 Kbit/s y 5.6 Kbit/s para codificación de voz.

PDC está implementado en las bandas de 800 MHz (recepción 810-888 MHz, emisión 893-958 MHz), y 1.5 GHz (recepción 1477-1501 MHz, emisión 1429-1453 MHz).

Los servicios incluyen voz (taza completa y media), servicios adicionales (llamada en espera, correo de voz, llamada entre tres, reenviar llamada), servicios de datos a través de conmutación de circuitos (hasta 9.6 Kbit/s, *CSD*), y conmutación de paquetes (hasta 28.8 kbit/s, *PDC-P*).

PDC presenta algunos inconvenientes en cuanto a mantener la conexión, particularmente en lugares cerrados, tales como ascensores.

NTT DoCoMo lanzó su servicio *digital MOVA* en marzo de 1993 el cual hacía uso de esta tecnología. Al finalizar diciembre de 2003, se contaba con aproximadamente 61.817 millones de subscriptores, pero están siendo reemplazados lentamente a tecnologías de tercera generación (*3G*) tales como *W-CDMA* y *CDMA2000*.

4 GENERACIÓN INTERMEDIA 2.5G

GPRS (General Packet Radio Service)

Servicio General de Paquetes de Radio (General Packet Radio Service, GPRS) es una tecnología digital de telefonía móvil. Es considerada la *generación 2.5*, entre la segunda generación (*GSM*) y la tercera (*UMTS*). Proporciona altas velocidades de transferencia de datos (útil para conectarse a Internet) y se utiliza en las redes *GSM*.

GPRS es una modificación en la forma de transmitir datos en una red *GSM*, pasando de la *conmutación de circuitos* en *GSM* (donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información) a la *conmutación de paquetes*.

Desde el punto de vista del operador de telefonía móvil es una forma sencilla de migrar desde *GSM* a una red *UMTS* puesto que las antenas (la parte más costosa de una red de telecomunicaciones móviles) sufren ligeros cambios y los elementos nuevos de red necesarios para *GPRS* serán compartidos en el futuro con la red *UMTS*.

GPRS es básicamente una comunicación basada en paquetes de datos. Los intervalos de tiempo (*time slots*) se asignan en *GSM* generalmente mediante una conexión conmutada, mas en *GPRS* los intervalos de tiempo se asignan a la conexión de paquetes, mediante un sistema basado en la necesidad. Esto significa que si no se envía ningún dato por el usuario, las frecuencias quedan libres para ser utilizadas por otros usuarios.

Un usuario *GPRS* sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información, todo el tiempo que esté inactivo podrá ser utilizado por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin temor a saturar la red, de forma que mientras que en *GSM* sólo se ocupa un canal de subida de datos del equipo a la red y otro canal de bajada de datos desde la red al terminal, en *GPRS* es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de bajada y dos de subida, pasando de velocidades de 9,6 *Kbit/s* en *GSM* a 40 *Kbit/s* en bajada en *GRPS* y 20 *Kbit/s* de subida.

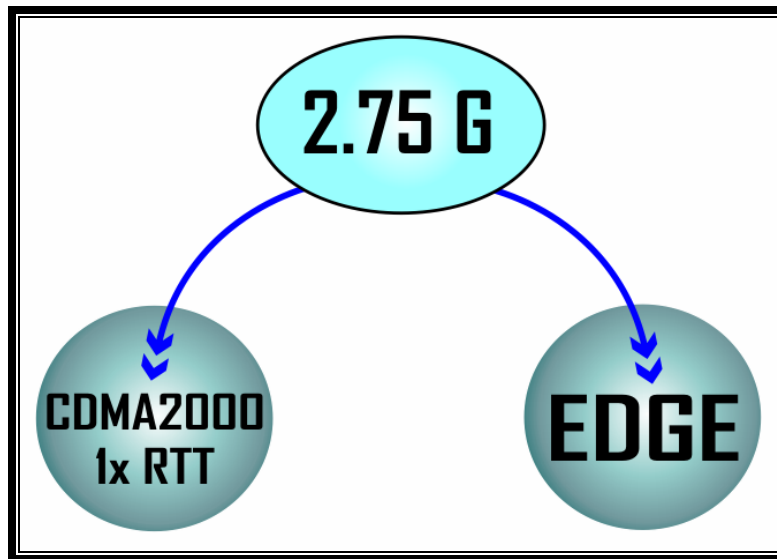
Otra ventaja de la conmutación de paquetes es que, al usarse los recursos sólo cuando se transmite o recibe información, la tarificación por parte del operador de telefonía móvil sólo se produce por la información transitada, no por el tiempo de conexión. Esto hace posible aplicaciones en la que un dispositivo móvil se conecta a la red y permanece conectado durante un periodo prolongado de tiempo sin que ello afecte en gran medida a la cantidad facturada por el operador.

Este estándar de comunicación inalámbrica es presentado de forma más completa en el *anexo C*, que trata exclusivamente las tecnologías *GSM* y *GPRS* [12].

5 GENERACIÓN INTERMEDIA 2.75G

Existen tecnologías consideradas intermedias o de transición entre las diversas generaciones celulares, como la generación 2.75 G que se aproxima más a las características de la tercera generación que a la segunda. Tecnologías como: **CDMA2000 1xRTT** y **EDGE** hacen parte de esta.

Figura 6. Generación intermedia 2.75 G



Fuente: Autores

5.1 CDMA 2000 1xRTT

CDMA2000 es un estándar de telecomunicaciones que utiliza *Acceso Múltiple por División de Código* (*Code Division Multiple Access, CDMA*, un esquema de acceso múltiple, para radio digital, enviar voz, datos y señalización de datos.

CDMA-2000 es compatible con los métodos de telefonía antiguos basados en *CDMA* (como *CDMAOne*) desarrollado por *Qualcomm*, una compañía comercial, y propietario de muchas patentes internacionales importantes en el campo de la tecnología.

CDMA2000 es un competidor incompatible con otros estándares de tercera generación (*3G*) basados en *W-CDMA* (como *UMTS* y *FOMA*). Debido a que está basado en estándares antiguos, muchas autoridades especulan que los estándares *CDMA* incompatibles que existen

en *Estados Unidos, Europa* y otros países estarían asegurando un mercado doméstico y protección de patentes para sus proveedores de telefonía móvil.

Existen diversas versiones de CDMA2000. Según el incremento en la complejidad: *IS-2000*, *CDMA2000 1x*, ***CDMA2000 1xRTT***, *CDMA2000 1xEV* y *CDMA2000 3x*.

IS-2000 es la segunda generación de celulares digitales de *CDMA*, una extensión de *IS-95*. Este es una forma primaria de *CDMA2000*.

CDMA2000 1x

CDMA2000 1x, también conocido como *3G1X*, es la esencia de la tecnología 3G de *CDMA2000*. La designación *1x* es usada para identificar la versión de *CDMA2000* que opera en un par de canales de radio de 1.25 MHz.

CDMA2000 1xRTT

CDMA2000 1xRTT (Tecnología de radio transmisión) es la capa básica de *CDMA2000*, la cual soporta velocidades de paquetes de hasta 144 Kbit/s. Mientras *1xRTT* se clasifica oficialmente como una tecnología de tercera generación (*3G*), *1xRTT* es considerado por algunos como una tecnología de *2.5G* (o algunas veces *2.75G*). Esto ha permitido desplegar a este al espectro *2G* en algunos países los cuales apartan ciertas bandas a los sistemas de tercera generación (*3G*). *1xRTT* dobla la capacidad de voz de las redes *IS-95*.

5.2 EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM (Enhanced Data rates for GSM Evolution, EDGE), también conocida como *EGPRS (GPRS Mejorado, Enhanced GPRS)*. Esta tecnología actúa como puente entre las redes *2G* y *3G*. *EDGE* fue puesto en funcionamiento en las redes GSM de *Norte América* en el año 2003.

Aunque *EDGE* funciona en cualquier red *GSM* que tenga implementado *GPRS*, el operador debe implementar las actualizaciones necesarias, además no todos los teléfonos móviles lo soportan. Para la implementación de este la red principal (*core network*), no necesita ser modificada, sin embargo, las estaciones bases, *BTS*, sí deben hacerlo. Se deben instalar trancceptores compatibles con *EDGE*, además de nuevos

terminales (teléfonos) y un software que pueda decodificar/codificar los nuevos esquemas de modulación.

EDGE, o *EGPRS*, puede ser usado en cualquier transferencia de datos basada en conmutación por paquetes (*Packet Switched*), como lo es la conexión a Internet. Las ventajas de EDGE sobre GPRS se aprecian en las aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos alta, o ancho de banda alta, como video y otros servicios multimedia.

EDGE usa *Codificación por desplazamiento de Mínimos Gaussianos (Gaussian Minimum Shift Keying, GMSK)* y *Codificación por Desplazamiento de 8 Fases (8 Phase Shift Keying, 8PSK)* produciendo una palabra de 3 bits por cada cambio en la fase de la portadora, con esto se triplica el ancho de banda disponible que brinda *GSM*. *GPRS* así como *EDGE* usa un algoritmo de adaptación de tasas, que adapta el *Esquema de Modulación y Codificación (Modulation and Code Scheme, MCS)* usado para mejorar la calidad del canal de radio, el índice binario (*bit rate*) y la robustez de la transmisión de datos.

EDGE puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384 *Kbit/s*, cumpliendo los requisitos de la *ITU* para una red *3G*, también ha sido aceptado como parte de *IMT-2000*, de la familia de estándares *3G*. Mejora el modo de circuitos de datos denominado *HSCSD*, aumentando el ancho de banda para el servicio.

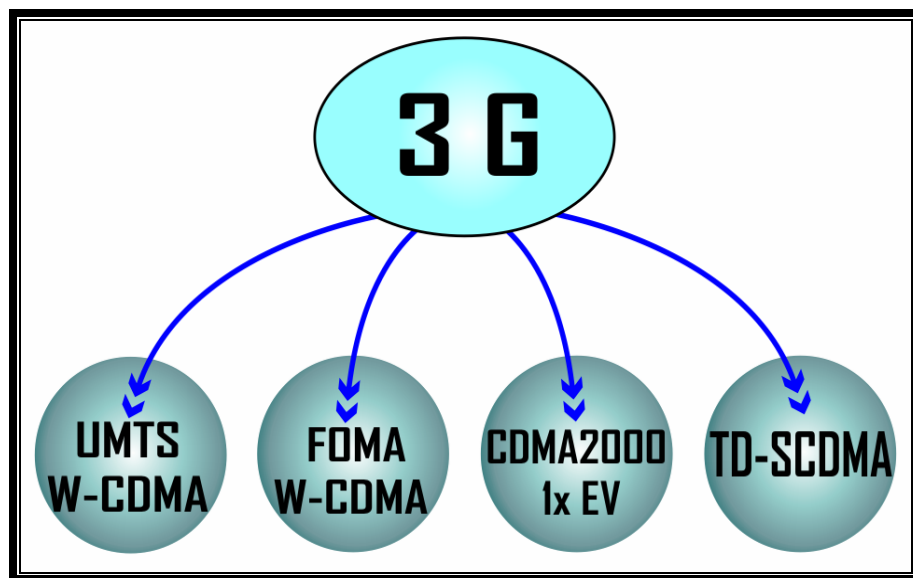
EDGE agrega una nueva tecnología que no se encuentra en *GRPS*, la *Redundancia Incremental*, esta en vez de retransmitir los paquetes de información alterados, envía más información redundante que se combina en el receptor, lo cual incrementa la probabilidad de decodificación correcta.

Aunque la tecnología *UMTS* es de mayor capacidad de transferencia, y cronológicamente más reciente, sus altos costos de implementación, y poco apoyo, hacen que una buena cantidad de operadores de telefonía móvil celular tengan implementada la tecnología *EDGE*, dominando el mercado global de las comunicaciones *GSM/GPRS* [13].

6 3G (TERCERA GENERACIÓN)

Actualmente la mayoría de empresas a nivel mundial que prestan el servicio de telefonía móvil encaminan todos sus esfuerzos y análisis en la mejor forma de migrar a la tercera generación (3G). Tecnologías como: *UMTS*, *FOMA*, *CDMA2000 1xEV* y *TD-SCDMA* hacen parte de esta.

Figura 7. Tercera generación de telefonía celular (3G)



Fuente: Autores

6.1 W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

Acceso Múltiple de Banda Ancha por División de Código (Wideband Code Division Multiple Access, W-CDMA), constituye una tecnología móvil inalámbrica de tercera generación que aumenta las tasas de transmisión de datos de los sistemas *GSM* utilizando la interfaz aérea *CDMA* en lugar de *TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo)* ofreciendo velocidades de datos más altas en dispositivos inalámbricos móviles y portátiles que generaciones celulares anteriores. Dos importantes sistemas de telecomunicaciones móviles hacen uso de esta tecnología: *UMTS* y *FOMA*.

6.1.1 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Introducción

Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) es un sistema de telecomunicaciones móviles que evoluciona desde *GSM* pasando por *GPRS*. *UMTS* pretende llegar alrededor de 2000 millones de usuarios en el año 2010.

El principal avance es la tecnología *W-CDMA (Wide Code Division Multiple Access)* heredada de la tecnología militar, a diferencia de *GSM* y *GPRS* que utilizan una mezcla de *FDMA (Frequency Division Multiple Access)* y *TDMA (Time Division Multiple Access)*. La principal ventaja de *W-CDMA* consiste en que la señal se expande en frecuencia gracias a un código de ensanchado que sólo conocen el emisor y el receptor.

Esta forma de modulación tiene numerosas ventajas:

- ▶ Altas velocidades de transmisión de hasta 2 *Mbit/s*, al usar todo el espectro.
- ▶ Alta seguridad y confidencialidad debido a la utilización de técnicas que permiten acercarse a la capacidad máxima del canal.
- ▶ Alta resistencia a las interferencias.
- ▶ Posibilidad de trabajar con dos antenas simultáneamente debido a que siempre se usa todo el espectro y lo importante es la secuencia de salto, lo que facilita el *handover* (proceso de traspaso de la señal de una antena a otra), donde *GSM* falla mucho.
- ▶ *UMTS* ofrece otra serie de ventajas como *roaming* y cobertura a nivel mundial ya sea vía enlace radio terrestre o vía satélite, y está altamente estandarizado con una interfaz única para cualquier red.

Principales características

Es una tecnología apropiada para una gran variedad de usuarios y tipos de servicios, *UMTS* ofrece:

- ▶ *Facilidad de uso y bajos costos:* UMTS proporciona servicios de uso fácil y adaptable para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios, amplia gama de terminales para realizar fácil acceso a los distintos servicios, y bajo costo de los servicios para asegurar un mercado masivo.
- ▶ *Nuevos servicios y acceso rápido:* La principal ventaja de UMTS sobre la *segunda generación (2G)*, es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 144 *Kbit/s* sobre vehículos a gran velocidad, 384 *Kbit/s* en espacios abiertos y 2 *Mbit/s* con baja movilidad (interior de edificios). Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se combinan para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y video conferencia.

Arquitectura básica del sistema UMTS

La estructura de redes UMTS esta compuesta por dos grandes subredes: la *red de telecomunicaciones* y la *red de gestión*. La primera es la encargada de sustentar el traspaso de información entre los extremos de una conexión. La segunda tiene como funciones la provisión de medios para la facturación y tarificación de los abonados, el registro y definición de los perfiles de servicio, la gestión y seguridad en el manejo de sus datos, así como la operación de los elementos de la red, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de ésta, la detección y resolución de averías o anomalías, o también la recuperación del funcionamiento tras periodos de apagado o desconexión de algunos de sus elementos.

6.1.2 FOMA (Freedom of Mobile Multimedia Access)

Libertad de Acceso Móvil Multimedia (Freedom of Mobile Multimedia Access, FOMA), es el nombre dado a los servicios de *tercera generación (3G)* ofrecidos por el operador móvil japonés *NTT DoCoMo*.

FOMA fue el primer servicio de *3G* basado en *W-CDMA* lanzado en el mundo en 2001. Con muchas alternativas para el *roaming* internacional.

Alrededor de marzo de 2004, con una cobertura casi completa a nivel nacional incluidas las estaciones de metro e interiores de edificios, y con la introducción de la serie de terminales *DoCoMo 900i*, se alcanzo la masificación de este sistema, así como

la elevación de las ventas. Así alrededor del verano de 2005, *FOMA* contaba con aproximadamente 15 millones de suscriptores así como también el más rápido crecimiento de las redes celulares en Japón.

6.2 CDMA2000 1xEV

CDMA2000 es un estándar de telecomunicaciones que utiliza *Acceso Múltiple por División de Código* (*Code Division Multiple Access, CDMA*), un esquema de acceso múltiple, para radio digital, enviar voz, datos y señalización de datos.

Existen diversas versiones de *CDMA2000*. Según el incremento en la complejidad: *IS-2000*, *CDMA2000 1x*, *CDMA2000 1xRTT*, ***CDMA2000 1xEV*** y *CDMA2000 3x*.

IS-2000

IS-2000 es la segunda generación de celulares digitales de *CDMA*, una extensión de *IS-95*. Este es una forma primaria de *CDMA2000*.

CDMA2000 1x

CDMA2000 1x, también conocido como *3G1X*, es la esencia de la tecnología *3G* de *CDMA2000*. La designación *1x* es usada para identificar la versión de *CDMA2000* que opera en un par de canales de radio de 1.25 MHz.

CDMA2000 1xRTT

CDMA2000 1xRTT (Tecnología de radio transmisión) es la capa básica de *CDMA2000*, la cual soporta velocidades de paquetes de hasta 144 Kbit/s. Mientras *1xRTT* se clasifica oficialmente como una tecnología de tercera generación (*3G*), *1xRTT* es considerado por algunos como una tecnología de *2.5G* (o algunas veces *2.75G*). Esto ha permitido desplegar a este al espectro *2G* en algunos países los cuales apartan ciertas bandas a los sistemas de tercera generación (*3G*). *1xRTT* dobla la capacidad de voz de las redes *IS-95*.

CDMA2000 1xEV

CDMA2000 1xEV (Evolución) es el mismo *CDMA2000 1x* con una capacidad adherida de manejar *Altas Tasas de Datos (High Data Rate, HDR)*.

1xEV es comúnmente separado en dos fases:

Fase 1 de CDMA2000 1xEV: *CDMA2000 1xEV-DO (Evolution Data Optimized)* soporta en bajada velocidades de hasta 3.1 *Mbit/s* y en subida hasta 1.8 *Mbit/s* en canales de radio dedicados a llevar paquetes de datos de alta velocidad.

Fase 2 de CDMA2000 1xEV: *CDMA2000 1xEV-DV (Evolution Data and Voice)* soporta en bajada velocidades de hasta 3.1 *Mbit/s* y en subida hasta 1.8 *Mbit/s*. Con mejoras considerables en cuanto a la calidad de voz y datos.

Verizon Wireless y *Bell Canada* han iniciado un amplio desarrollo de *1xEV-DO* en los *Estados Unidos* y *Canadá* respectivamente, y *Alaska Communications Systems (ACS)* en los lugares más poblados de Alaska.

Sprint PCS había anunciado planes de desarrollar una red *1xEV-DV* sobre las redes existentes *CDMA*. Sin embargo, debido a los retardos en la disponibilidad de estos equipos y a las presiones de la competencia con redes de *tercera generación (3G)*, *Sprint* anunció, en junio de 2004, su intención de ampliar su desarrollo a *1xEV-DO*.

6.3 TD-SCDMA

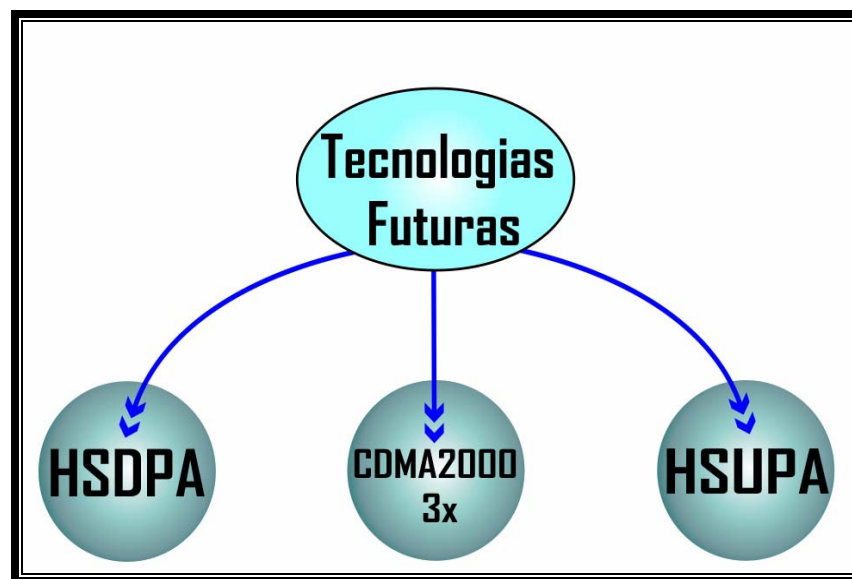
Acceso Múltiple por División de Código y Tiempo Sincronizado (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access, TD-SCDMA) es un estándar de telecomunicaciones móviles de *tercera generación (3G)*, promovido por *Datang* y *Siemens AG* en la República China, en un intento de desarrollar tecnología tradicional y no ser dependiente de la tecnología occidental. Está basado en tecnología CDMA de *Espectro Expandido*.

Las grandes ventajas de *TD-SCDMA* son: ahorro en el pago de licencias y cuotas de patentes, uso de tasas de datos asimétrica (permite diferentes velocidades de subida y bajada, lo cual es ideal para Internet ambiental).

7 TECNOLOGÍAS FUTURAS

Actualmente (2007) existen varias tecnologías esperando a ser implementadas, estas tecnologías consideradas intermedias entre la tercera (3G) y cuarta generación (4G) son: *HSDPA*, *CDMA2000 3x*, *HSUPA* entre otras.

Figura 8. Tecnologías futuras de la telefonía celular



Fuente: Autores

HSDPA

HSDPA es la optimización de la tecnología espectral *UMTS/WCDMA*, que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar tasas de 14 *Mbit/s*.

HSDPA lleva a *W-CDMA* a su máximo potencial en la prestación de servicios de banda ancha. La eficiencia espectral y las velocidades aumentadas no sólo habilitan nuevas clases de aplicaciones, sino que además dan soporte para que la red sea accedida por un mayor número de usuarios; *HSDPA* provee tres veces más capacidad que *UMTS*. En cuanto a la interfaz de las aplicaciones en tiempo real tales como

videoconferencia y juegos entre múltiples jugadores, actualiza a la tecnología *W-CDMA* al acortar la latencia de la red, brindando así mejores tiempos de respuesta.

Comparte sus canales de alta velocidad entre los usuarios del mismo dominio de tiempo, lo que representa el enfoque más eficiente. Entre los servicios que serán posibles con el *HSDPA* destaca el vídeo en tiempo real con calidad DVD o las descargas de música.

CDMA2000 3x

Es el estándar al cual evolucionan las redes inicialmente *CDMA*, pasando antes por *CDMA2000 1x*, *CDMA2000 1xRTT*, *CDMA2000 1xEV*. Este también hacen parte de los sistemas de transición entre la tercera (*3G*) y cuarta (*4G*) generación, debido a las tasas de transmisión de datos que maneja.

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)

El cual es un sistema con mayores velocidades, posibilidades y aplicaciones que las mencionadas anteriormente.

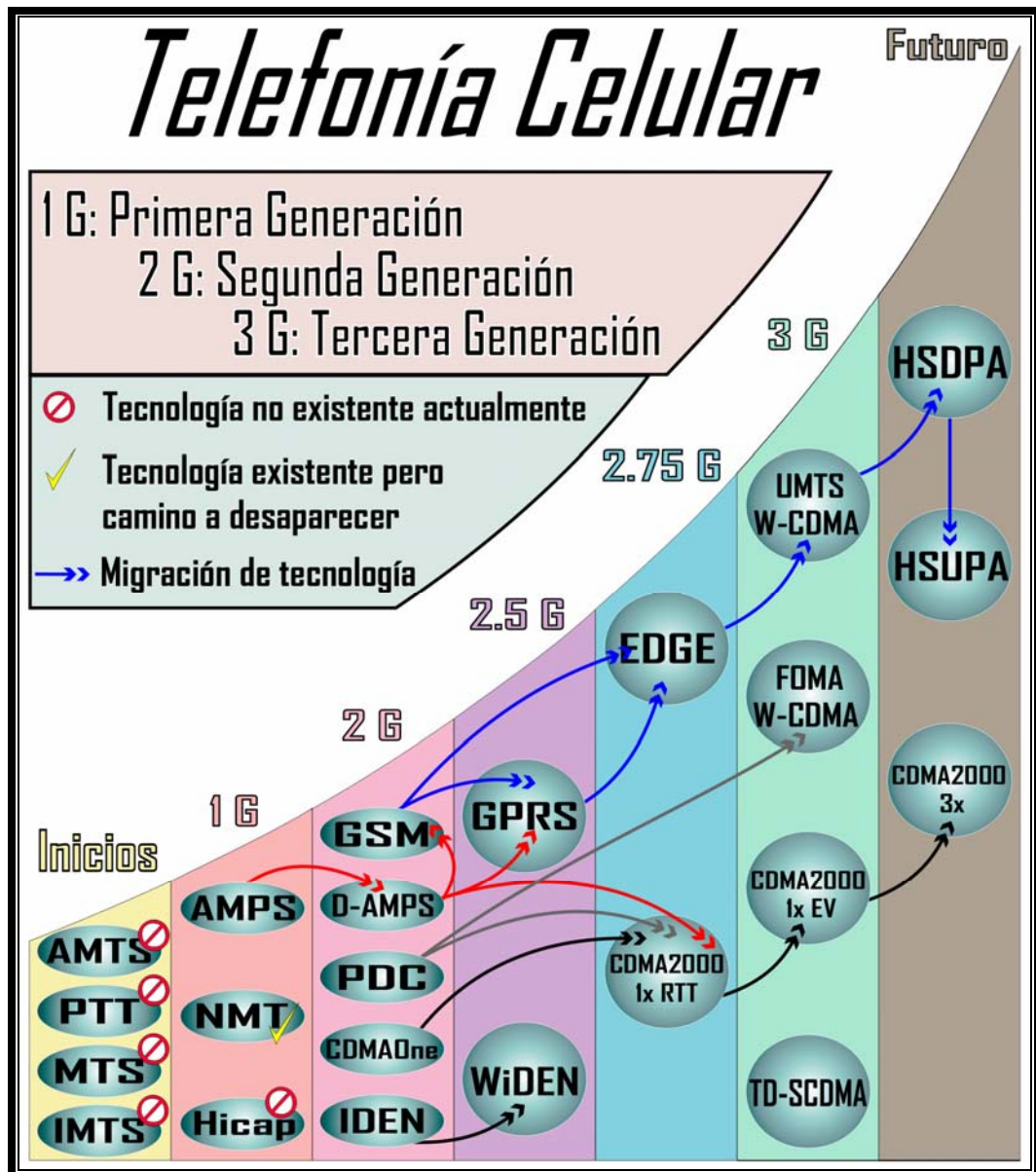
El futuro próximo

Se avanza hacia las redes de *cuarta generación (4G)*, la cual es una tecnología de telefonía móvil que utilizará el estándar *UMTS* para transmitir información a velocidades teóricas del orden de *100 Mbit/s*.

8 TODAS LAS TECNOLOGÍAS

En el siguiente esquema se muestra la posible migración de las tecnologías que existen actualmente en el mundo hacia las futuras generaciones.

Figura 9. Migración de las generaciones celulares



Fuente: Autores

Existencia de las redes

Las tecnologías referenciadas a los *inicios* de la telefonía celular, tales como: **AMTS**, **PTT**, **MTS** e **IMTS** no existen actualmente.

En la **primera generación** celular (**1G**) aparecen tecnologías como: **AMPS**, **NMT** e **Hicap**. Las redes **AMPS** migraron hacia la tecnología **D-AMPS**, sobreviven algunas redes **NMT** en algunos países nórdicos, y las redes **Hicap** propias de Japón ya no operan. Todos estos sistemas, así como los de los inicios de la telefonía celular eran totalmente análogos y con muchas limitaciones en cuanto a la prestación de servicios.

La gran mayoría de países actualmente presenta alguna que otra red de la **segunda generación** celular (**2G**), a la cual pertenecen las tecnologías: **GSM**, **D-AMPS**, **PDC**, **CDMAOne**, o **iDEN**. Y aunque las empresas prestadoras del servicio intentan actualizar los equipos, existen en todo el mundo por lo menos alguna red de cada una de estas tecnologías. Estas son totalmente digitales y con mejoras en las tasas de transmisión que generaciones anteriores.

Tecnologías como **GPRS**, **EDGE**, **CDMA2000** o más avanzadas existen en algunos países, mientras en otros se espera para su implementación.

Migración de las generaciones celulares

Tal como se aprecia en la figura anterior:

Las redes que eran **AMPS**, migraron hacia las redes **D-AMPS**; luego algunas de estas redes fueron reemplazadas por tecnología **GSM** o **GPRS** y otras por tecnología **CDMA2000 1xRTT**.

Las redes **GSM** a su vez pueden evolucionar a redes **GPRS** o **EDGE**, mientras las redes **GPRS** lo hacen a **EDGE**. Las redes **EDGE** avanzan a **UMTS**, y **UMTS** evoluciona a **HSDPA**, quien a su vez lo hace a **HSUPA**.

Las redes **PDC** (existentes sólo en Japón) fueron reemplazadas por tecnologías **FOMA** (basada en **W-CDMA**) o por redes **CDMA2000 1xRTT**.

Las primeras redes **CDMAOne** están siendo reemplazadas por redes **CDMA2000 1xRTT**, las redes **CDMA2000 1xRTT** evolucionan a **CDMA2000 1xEV**, y estas a su vez lo hacen a las redes **CDMA2000 3x**.

Unificación de los estándares

La figura anterior también muestra algo importante: la unificación de los estándares de comunicación celular. Desde el año 2000 las diferentes empresas relacionadas con este sector han procurado la unificación de las normas a nivel mundial, todo esto con el fin integrar los diversos sistemas de comunicación existentes en el mundo, buscando si es posible en un futuro próximo la existencia de un solo patrón mundial.

Comparación en la velocidad de transmisión de diversas tecnologías

Tabla 2. Comparación tasas de transmisión en la telefonía celular

Sistema	Kbit/s máximo Teórico	Kbit/s reales	Comentarios
GSM	9,6	9,6	Conmutación de circuitos
HSCSD	57,6	28,8	Se agrupan varios canales GSM para una misma transmisión de datos
GPRS	171,2	44	Conmutación de paquetes
EDGE	384	70	Cambio de sistema de modulación
UMTS	384 - 2000	100	Interfaz de radio UTRAN

Fuente: Autores

ANEXO C: REDES CELULARES GSM Y GPRS

GPRS es considerada como parte de la generación 2.5 de telefonía celular, debido a que mejora o evoluciona la red *GSM*.

GPRS modifica la forma de transmitir datos, utilizando la conmutación de paquetes, ideal para transmitir datos, enfatizándose primordialmente en ofrecer acceso a redes de datos estándar como *X25* o Internet, a través del protocolo *TCP/IP* (*Transmisión Control protocol*); por otro lado, *GSM* utiliza conmutación de circuitos (donde se reserva el circuito durante la comunicación así no se envíe información) mas que todo diseñado para transmitir voz. Mientras que las velocidades de transferencia *GSM* no sobrepasan los 9,6 kbps con tiempos de establecimiento de conexión entre 15 a 30 segundos, las velocidades de transferencia *GPRS* llegan hasta los 144 kbps con tiempos de conexión inferiores a un segundo, lo cual ayuda a mantener una comunicación eficiente y rápida con redes de datos como Internet.

GPRS en el momento de la transmisión, encapsula los datos a transmitir en paquetes cortos, cada uno con una cabecera en la cual se especifican las direcciones de origen y destino. Cada uno de estos paquetes puede seguir rutas distintas a través de los nodos de la red o nodos de soporte de servicio, denominados *GSN* (*Gateway Support Node*) hasta llegar a su destino final; así mismo los paquetes originados por distintos usuarios pueden ser intercalados a lo largo de la transmisión, y de esta forma se comparte la capacidad de transmisión, mejorando la eficiencia del sistema de transmisión. Los paquetes, no son enviados a intervalos de tiempo, sino que cuando se necesita, se asigna la capacidad de la red, y se transmite de acuerdo a esta capacidad de la forma más eficiente, utilizando los recursos de radio solo cuando hay datos por transmitir o recibir, disminuyendo de esta forma el costo en el envío de información, ya que el cobro se puede basar en la cantidad de datos transmitidos y no en el tiempo de uso del canal como en *GSM*; esto quiere decir que un usuario *GPRS* puede estar conectado a la red todo el tiempo que desee sin costo alguno, a no ser que trasmita o reciba datos por la red.

TIPOS Y CLASES DE DISPOSITIVOS GPRS

Existen varios tipos de dispositivos *GPRS*, cada uno de los cuales brindan sus diferentes tipos de servicios. Cabe señalar que la tarjeta *SIM* usada para *GSM*, también puede ser usada para *GPRS*. Entre los dispositivos *GPRS* mas comunes se tienen:

- ✦ Un teléfono móvil *GPRS*
- ✦ Ordenador portátil con conexión a modulo *GPRS*
- ✦ *PDA (Personal Digital Assistant)*, Terminales tipo organizador personal digital

Por otra parte, los dispositivos *GSM/GPRS* se pueden clasificar en las siguientes clases:

Clase A: se puede usar simultáneamente *GSM* y *GPRS*, es decir que permite voz e Internet simultáneamente.

Clase B: permite voz y datos, pero puede degradarse la calidad de la conexión de datos.

Clase C: la elección de *GSM* o *GPRS* se realiza de forma manual, es decir que permite voz o datos, pero solo uno de los dos a la vez.

1 ARQUITECTURA DE LA RED GSM

La arquitectura base del sistema *GSM* consta de cuatro subsistemas principales, interconectados mediante interfaces. Los elementos que componen cada subsistema son:

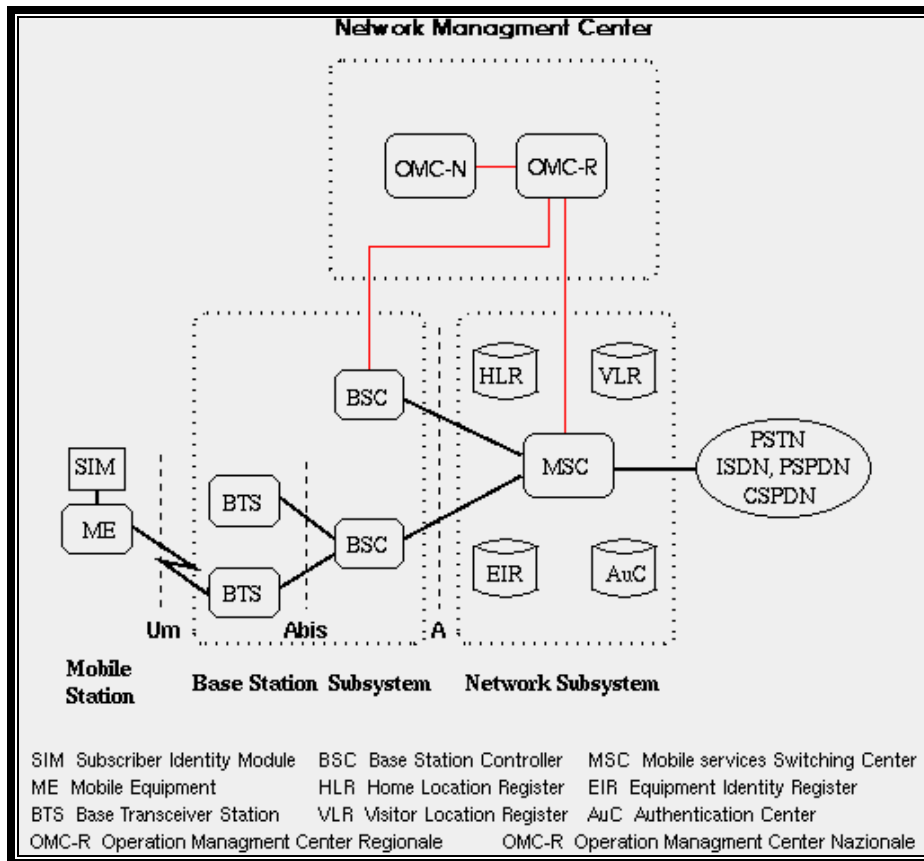
- ✚ ***MS (mobile Station, Estación Móvil)***
 - ◆ **ME** (Mobile Equipment, Equipo Móvil)
 - ◆ **SIM** (Subscriber Identification Module, Módulo de identificación del Suscriptor)

- ✚ ***BSS (Base Station Sub-System, Subsistema de Estación Base)***
 - ◆ **BSC** (Base Station Controller, Controlador de Estación Base)
 - ◆ **BTS** (Base Transceiver Station, Estación Transceptora Base)

- ✚ ***NSS (Network Sub-System, Subsistema de Red)***
 - ◆ **MSC** (Mobile Switching Center, Centro de Conmutación de Servicios Móviles)
 - ◆ **VLR** (Visitor Location Register, Registro de Posiciones de Visitante)
 - ◆ **HLR** (Home Location Register, Registro de Localización Local)
 - ◆ **AUC** (Authentication Center, Centro de Autenticación)
 - ◆ **EIR** (Equipment Identity Register, Equipo Identificador de Registros)

- ✚ ***NMC (Network Management Center, Centro de Administración de Redes)***
 - ◆ **OMC** (Operation and Maintenance Center, Centro de Operaciones y Mantenimiento)

Figura 10. Arquitectura de la red GSM



Fuente: [15]

ME es el terminal radio-móvil transportado por el abonado. El *Subsistema de Estaciones Bases (Base Station Subsystem, BSS)* se ocupa del control de la conexión radio con la estación móvil. El *Subsistema de Red (Network SubSystem, NSS)* realiza la conmutación de las llamadas entre redes móviles y la red fija o hacia otras redes radio-móviles, así como de la supervisión de la movilidad de los abonados. Desde el *Centro de Administración de Redes (Network Managment Center, NMC)* se pueden controlar todas las operaciones en curso, además de efectuar la configuración de la red.

OMC (Centro de Operación y Mantenimiento), encargado de realizar las funciones de operación y mantenimiento propias del sistema, estableciendo correctamente los parámetros que controlan los procedimientos de la comunicación.

MSC (Centro de Conmutación de Servicios Móviles), cumple la función de interconectar a los usuarios de la red fija con los usuarios móviles o de estos entre sí. Mantiene las bases de datos para tratar las peticiones de llamada de los abonados.

HLR (Registro de Localización Local), almacena los datos estáticos más significativos relativos al abonado móvil cuando este se registra en ella, así como los datos variables asociados a su movilidad.

VLR (Registro de Posiciones de Visitantes), almacena toda la información sobre el abonado móvil que entra en su zona de cobertura temporalmente, lo que permite al *MSC* establecer llamadas tanto entrantes como salientes.

AuC (Centro de Autenticación), se asocia con el *HLR*, para proteger la comunicación contra la intrusión y el fraude.

EIR (Registro de Identificación de Equipos), encargado de controlar el acceso a la red, evitando el empleo de equipos móviles no autorizados.

BTS (Estación Transceptora Base), contiene los transmisores y receptores para cubrir una determinada área geográfica (una o más celdas).

BSC (Controlador de Estación Base), coordina la transferencia de llamadas entre distintas *BTS*, con objeto de mantener la continuidad y la potencia con que estas emiten, para evitar interferencias y ahorrar baterías. Al tener capacidad de conmutación inteligente se puede programar para concentrar tráfico y obtener la ganancia del efecto "*trunking*".

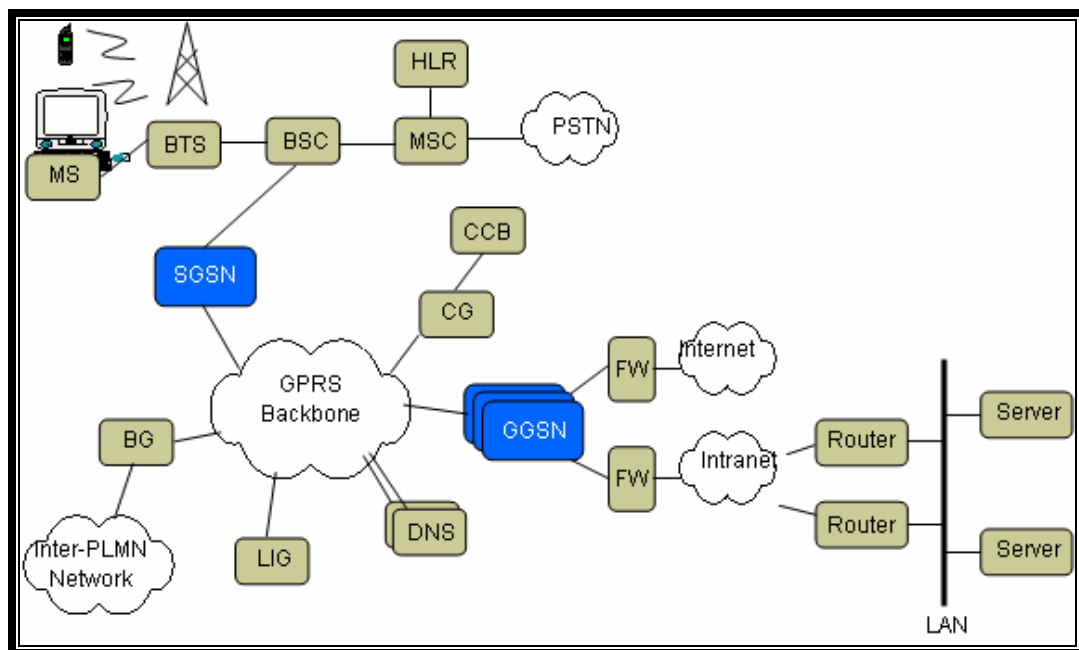
ME (Equipo Móvil), es el terminal de usuario, que se comunica con la red a través de una interfase de radio.

2 ARQUITECTURA DE LA RED GSM/GPRS:

La arquitectura *GSM*, es la base de la arquitectura *GPRS*, ya que estas dos comparten la red de acceso, pero *GPRS* actualiza la red *GSM*, principalmente agregando software a las centrales de conmutación, y también agregando algunos dispositivos a partir del *BSC*, completamente orientados a la conmutación de paquetes de datos.

A continuación se presenta una figura con la arquitectura *GPRS*.

Figura 11. Arquitectura de la red *GSM/GPRS*



Fuente: [16]

GPRS agrega dos nodos mas a la arquitectura *GSM*, los cuales son: *Nodo de soporte de Servicio GPRS* (*Serving GPRS Support Node, SGSN*) y el *Nodo de soporte de pasarela* (*Gateway GPRS Support Node, GGSN*).

Los elementos adicionales a la red *GSM* que presenta *GPRS* son:

- ✦ ***SGSN (Serving GPRS Support Node)***, es una especie de encaminador o enrutador de los paquetes IP salientes/entrantes desde cualquier usuario GPRS físicamente localizado dentro del área geográfica atendida por ese SGSN. Cada nodo SGSN se encarga principalmente de:
 - ◆ Asignar las direcciones IP
 - ◆ Seguir los movimientos del usuario al cambiar de Estación Base, teniendo soporte para roaming y handover dentro y entre redes móviles
 - ◆ Gestionar la sesión y configurar la comunicación en el suscriptor móvil.
 - ◆ Proveer seguridad en la conexión
 - ◆ Verificar y recolectar datos de facturación.

- ✦ ***GGSN (Gateway GPRS Support Node)*** sirve de pasarela para conectar con otras redes como IP, Internet, X25 y otras redes *GPRS*.

- ✦ ***La estructura principal o red troncal GPRS (backbone).***

3 CARACTERÍSTICAS GENERALES

GESTION DE LA SESIÓN GPRS

Para realizar la gestión de la sesión *GPRS* hay que seguir los pasos que se describen a continuación. Lo que primero se debe hacer, antes de iniciar una comunicación con una red externa como Internet, es definir un contexto *PDP* (*Packet Data Protocol*). Un contexto *PDP* define las características de la conexión (*Access Point Name*, *APN*, *QoS*, prioridad radio, etc). El parámetro más importante del contexto *PDP* es el *APN*. El *APN* especifica cual es el punto de acceso a la red externa, por ejemplo si se desea acceder a través de *Movistar* en Colombia se debe especificar el valor "**Internet.movistar.com.co**". *QoS* define la calidad del servicio *GPRS*. El parámetro *QoS* puede dejarse por defecto, para que sea la operadora quien especifique el grado de servicio. Luego hay que especificar el usuario y la contraseña de la operadora que presta el servicio para poder ingresar a la red *GPRS*.

Una vez definido el contexto *PDP* se realiza el "enganche" con la red *GPRS* de la operadora que nos atiende, técnicamente se trata de una conexión con el nodo *SGSN* que conforma la red *GPRS*, que es el responsable de la entrega de paquetes al terminal móvil en su área de servicio.

Luego se realiza la activación del contexto *PDP* definido previamente, en este paso se crea una tabla de *routing* en el nodo *GGSN* para los paquetes originados y terminados en el móvil; y por ultimo se realiza la conexión "cliente-servidor" para crear un canal de comunicación y poder intercambiar tramas en formato *TCP/IP*. Cuando se han realizado estos pasos, se activa un cliente *PPP* que negocia con el servidor *PPP* de la operadora las direcciones *IP* para el acceso a Internet. Tras configurar la dirección *IP* y el puerto del servidor, ya se dispone de acceso a Internet.

COBERTURA GSM/GPRS

Según estudios realizados, *GSM* acepta una calidad de llamada de voz con una intensidad de campo de señal de radio de por lo menos 8 o 9 dBm. Sin embargo, *GPRS* necesita solo de una intensidad de 5 o 6 dBm para enviar paquetes de datos por la red; por lo tanto *GPRS* mejora la cobertura para transmitir información, ya que los datos son menos sensibles a intensidad de señal, que la voz transmitida en *GSM*.

SERVICIOS QUE PRESTA GPRS

Entre los servicios soportados por GPRS se tienen:

- ✦ **Servicios de conexión a Internet móvil:** el dispositivo *GPRS* tiene la capacidad de conectarse a Internet, visitar páginas web y realizar descargas de archivos.
- ✦ **Conexiones a Intranet:** capacidad de conectarse a cuentas de correo corporativas, permitiendo el uso de los sistemas de correo electrónico de la empresa.
- ✦ **Acceso a bases de datos Web:** a través de *GPRS*, el dispositivo móvil puede acceder a bases de datos que estén en Internet, y puede observar, analizar y actualizar los datos de la misma desde cualquier lugar. Este tipo de servicio fue implementado en este proyecto, en el cual un *Modem GPRS*, envía e inserta datos en una base de datos sobre Internet.
- ✦ **Servicios WAP:** acceso a noticias, información de bancos, finanzas, viajes, restaurantes, entre otros.
- ✦ **Servicios de localización:** información de carreteras, hoteles, planos de ciudades, etc.
- ✦ **Servicio de telemetría y telemática:** censado y transmisión de datos a través de la red *GPRS* hasta una central de información. Este servicio también fue implementado en este proyecto, en el cual se censaban y transmitían los datos de los medidores de agua hasta una central de información.

TIPOLOGIAS DE SERVICIO GPRS

GPRS implementa dos formas o topologías de servicio para transmitir datos:

Punto a Punto (Point To Point, PTP): en esta topología, en la cual un usuario puede enviar datos a un único destino.

Punto a Multipunto (Point To Multipoint, PTM): en esta topología, en la cual un usuario puede enviar datos a varios destinos a la vez.

ANEXO D: GUÍA DE COMANDOS AT

Los siguientes, son los comandos básicos para realizar una comunicación GPRS usando el protocolo de transmisión *TCP/IP* [17].

AT+CGDCONT

Este comando define el contexto *PDP*. Un contexto *PDP* define las características de la conexión tales como: *Nombre del Punto de Acceso* (*Access Point Name, APN*), Calidad del Servicio (*Quality of Service, QoS*), prioridad radio, entre otros.

El parámetro principal del contexto *PDP* es el *APN*, el cual especifica el punto de acceso a la red externa. Así en el contexto *PDP* se especifica el correspondiente *APN*, el cual se obtiene del proveedor de servicio. En este proyecto se usó el *APN* para la red *GPRS* para *Movistar* en Colombia.

DESCRIPCIÓN	COMANDO	POSIBLES RESPUESTAS
Selección de los parámetros del contexto PDP	+CGDCONT=[<cid> [,<PDP_type> [,<APN> [,<PDP_addr> [,<pd1> [,...[,pdN]]]]]]]]]	<ul style="list-style-type: none"> • +CME ERROR: <err> • OK • ERROR
Muestra la configuración actual	+CGDCONT?	<ul style="list-style-type: none"> • +CGDCONT: <cid>, <PDP_type>, <APN>, <PDP_addr>, [, <pd1> [, ... [, pdN]]] [<CR> <LF> +CGDCONT: <cid>, <PDP_type>, <APN>, <PDP_addr>, [, <pd1> [, ... [, pdN]]] [...] • OK • ERROR
Muestra si el comando es soportado	+CGDCONT=?	<ul style="list-style-type: none"> • +CGDCONT: (range of supported <cid>s), <PDP_type>, ..., [(list of supported <pd1>s) [, ... [, (list of supported <pdN>s)]]] [<CR> <LF> +CGDCONT: (range of supported <cid>s), <PDP_type>, ..., [(list of supported <pd1>s) [, ... [, (list of supported <pdN>s)]]] [...] • OK • ERROR

Los valores y las especificaciones de los parámetros del contexto *PDP*, incluidas dentro del comando *AT+CGDCONT* se muestran a continuación:

PARAMETRO	TIPO DE DATO	DESCRIPCION
<i><cid></i>	Entero	(Identificador del contexto PDP). Es un parámetro numérico que identifica la definición particular del contexto PDP. El rango de valores permitidos es entre 1 y 10.
<i><PDP_type></i>	IP	Internet Protocol (IETF STD 5)
<i><APN></i>	cadena	(Access Point Name). Es un parámetro que identifica un nombre que es usado para seleccionar el nodo GGSN o la red de datos de paquetes externos.
<i><PDP_address></i>	cadena	Este parámetro identifica el módulo en el espacio de dirección aplicable al contexto PDP
<i><pdN></i>	cadena	Es un parámetro que especifica a <i><PDP_type></i>

AT*ENAD

Este comando define una cuenta de Internet, cuando hay necesidad de ingresar un nombre de usuario y una contraseña.

DESCRIPCION	COMANDO	POSIBLES RESPUESTAS
Define una cuenta de Internet	AT*ENAD=[<index>][,<name>,<userid>,<password>,<bearer>,(bearer_settings)]If <bearer>=1(bearer_settings):=<pref_serv>,<pap_chap>	<ul style="list-style-type: none"> • *ENAD:<index>[,<cid>] • +CME ERROR <err>
Lee la configuración actual	AT*ENAD?	<ul style="list-style-type: none"> • *ENAD:list of <index>s with corresponding <name>,<userid>,,<bearer> followed by the list of bearer dependent parameters • If <bearer>=1 (bearer_settings):=<pref_serv>,<pap_chap>,<cid>,<lock_state> • +CME ERROR <err>
Analiza si el comando es soportado	AT*ENAD=?	<ul style="list-style-type: none"> • *ENAD:list of supported <index>s,max length of <name> ,max length of <userid> ,max length of <password> ,(1),list of supported <pref_serv>s,list of supported <pap_chap>s,list of supported <lock_state>s • +CME ERROR <err>

Valores definidos:

PARAMETRO	TIPO DE DATO	DESCRIPCION
<i><index></i>	Entero de 1 a 10	Cada cuenta de Internet es dada a un único index.
<i><name></i>	Cadena	Cada cuenta de Internet tiene un nombre "amigable"
<i><userid></i>	cadena	Es el id de usuario usado cuando se configura la conexión.
<i><passwd></i>	cadena	Es el password que se usa cuando se configura la conexión
<i><bearer></i>	0	Conexión de circuito
	1	Servicio de paquetes de dominio
	2	Bluetooth (no soportado)
	3	SMS (No soportado)
<i><cid></i>	entero	Numero de Id de un contexto PDP, definido en AT+CGDCONT
<i><pref_serv></i>	0	Automático
	1	Solo servicio de paquetes de dominio
<i><pap_chap></i>	0	Normal: solo permite PAP
	1	Seguro: solo permite CHAP
	2	Ninguno: ningún esquema de autenticación es usado.

AT+CGATT

Este comando es usado para enganchar o desenganchar el Modem a la red GPRS. Técnicamente al realizar este procedimiento, el Modem se conecta con el nodo SGSN de la operadora en que nos encontramos.

DESCRIPCION	COMANDO	POSIBLES RESPUESTAS
Engancha o desengancha el modulo a la red GPRS	+CGATT=[<state>]	<ul style="list-style-type: none"> • +CME ERROR: <err> • OK • ERROR
Muestra la configuración actual	+CGATT?	<ul style="list-style-type: none"> • +CGATT: <state> • OK • ERROR
Muestra si el comando es soportado	+CGATT=?	<ul style="list-style-type: none"> • +CGATT: (list of supported <state>s) • OK • ERROR

Este comando posee los siguientes estados:

PARAMETRO	TIPO DE DATO	DESCRIPCION
<state>	0	desenganchado
	1	enganchado

AT*E2IPA

Este comando permite la activación de la sesión IP sobre el modulo. Una vez activado con el contexto, previamente definido (ver AT+CGDCONT), las conexiones IP pueden ser hechas, y al modulo se le da una dirección IP.

DESCRIPCION	COMANDO	POSIBLES RESPUESTAS
Solicitud de activación o desactivación IP	AT*E2IPA=<Activate> ,<cid>	<ul style="list-style-type: none"> • ERROR·OK • E2IPA: <ErrNum> • ERROR
Despliega el estado de activación IP actual	AT*E2IPA?	<ul style="list-style-type: none"> • *E2IPA: <Active> OK • ERROR
Muestra si el comando es soportado	AT*E2IPA=?	<ul style="list-style-type: none"> • *E2IPA: (list of supported <Activate>s), (list of supported < cid >s) • OK • ERROR

Valores definidos:

PARAMETRO	TIPO DE DATO	DESCRIPCION
<Activate>	0	Sesión IP desactivada
	1	Sesión IP activada
<cid>	entero	Rango de valores de 0 a 10 para referirse al identificador del contexto PDP previamente definido con AT+CGDCONT.
<ErrNum>	1	Contexto PDP invalido
	2	Cuenta PDP invalida
	3	Error de cierre
	8	Instalación cancelada
	9	Muchas cuentas activas
	10	Conflicto con cuentas de prioridad superiores
	11	Muchos usuarios activos
	12	Cuenta PDP no existente
	13	Petición al usuario de paro
	14	Autenticación fallida
	15	Soporte de conexión fallida
	16	Servidor remoto ocupado
	17	Servidor remoto rehusado
	18	Soporte ocupado
19	Línea ocupada	
20	Error desconocido	
255	Parámetro invalido	

AT*E2IPI

Este comando lee la información o el estatus IP del modulo. El comando solo tendrá éxito cuando una sesión IP este activa (ver AT*E2IPA).

DESCRIPCION	COMANDO	POSIBLES RESPUESTAS
Solicitud de información IP	AT*E2IPI= <InfoType>	<ul style="list-style-type: none"> • ERROR • *E2IPI: <IPAddr> OK
Muestra si el comando es soportado	AT*E2IPI=?	<ul style="list-style-type: none"> • *E2IPI: list of supported <InfoType>s OK • ERROR

Valores definidos:

PARAMETRO	TIPO DE DATO	DESCRIPCION
<InfoType>	0	Modulo de dirección IP.
	1	Dirección IP del servidor DNS primario.
	2	Dirección IP del servidor DNS secundario.

AT*E2IPO

Este comando realiza una conexión IP con el servidor desde el modulo. Una vez la conexión IP es activada, la respuesta CONNECT es dada sobre un éxito, y en este momento se pueden transferir datos entre el modulo y el servidor. Si un error ocurre sobre el canal, entonces una respuesta NO_CARRIER será entregada.

DESCRIPCION	COMANDO	POSIBLES RESPUESTAS
Solicitud de una conexión IP	AT*E2IPO=<IPType>, <IPAddr>, <IPPort>	<ul style="list-style-type: none"> • ERROR • CONNECT • *E2IPO: <ErrNum> ERROR
Despliega el estatus de conexión IP actual	AT*E2IPO=?	<ul style="list-style-type: none"> • *E2IPO: <Open> OK <ul style="list-style-type: none"> • ERROR
Muestra si el comando es soportado	AT*E2IPO=?	<ul style="list-style-type: none"> • *E2IPO: (list of supported <IPType>s), (list of supported <IPAddr>s), (list of supported <IPPort>s) OK <ul style="list-style-type: none"> • ERROR

Valores definidos:

PARAMETRO	TIPO DE DATO	DESCRIPCION
<i><IPType></i>	0	UDP (no orientado a conexión)
	1	TCP(orientada a conexión)
<i><IPAddr></i>	cadena	Tipo cadena de la forma "nnn.nnn.nnn.nnn" donde n es un dígito de 0 a 9
<i><IPPort></i>	entero	Rango de 0 a 65535. Representa el número de puerto al cual se hará la conexión.
<i><ErrNum></i>	1	No conectado
	2	conectando
	3	conectado
	4	Conexión ocupada
	255	Otro error
<i><Open></i>	0	Conexión IP cerrada
	1	Conexión IP abierta

BIBLIOGRAFÍA (ANEXOS)

- [1]. WLANs. En:
<http://es.wikipedia.org/wiki/WLAN>
- [2]. Wi-Fi. En:
<http://www.monografias.com/trabajos14/wi-fi/wi-fi.shtml>
- [3]. Tecnologías inalámbricas. En:
<http://www.basstech.com/tecnologias-inalambricas.html>
- [4]. WiMAX. En:
<http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- [5]. Advanced Mobile Telephone System. En:
http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Mobile_Telephone_System
- [6]. Push To Talk. En:
http://es.wikipedia.org/wiki/Push_to_talk
- [7]. Mobile Telephone System. En:
http://en.wikipedia.org/wiki/Moble_Telephone_System
- [8]. IMTS. En:
<http://es.wikipedia.org/wiki/IMTS>
- [9]. Nordic Mobile Telephone. En:
http://en.wikipedia.org/wiki/Nordic_Mobile_Telephone
- [10]. Advanced Mobile Phone System. En:
http://es.wikipedia.org/wiki/Advanced_Mobile_Phone_System
- [11]. Global System for Mobile Communications. En:
http://es.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications
- [12]. General Packet Radio Service. En:
http://es.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service

- [13]. Enhanced Data Rates for GSM Evolution. En:
http://es.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution
- [14]. Universal Mobile Telecommunications System. En:
http://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System
- [15]. Arquitectura de la red GSM. En:
<http://www.melodiasmoviles.com/documentacion/red-gsm.php>
- [16]. Arquitectura de la red GPRS. En:
<http://www ldc.usb.ve/~poc/RedesII/Grupos/G2/>
- [17]. Application Note using AT commands to control TCP/IP stack on SEM GSM modelus. En:
<http://www.sonyericsson.com/>