

# UACM

Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México

---

*Nada humano me es ajeno*

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS Y DE  
TELECOMUNICACIONES

**Sistema localizador GPS vía una red WLAN**

TRABAJO RECEPCIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN  
INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS Y DE TELECOMUNICACIONES

PRESENTAN:

**ARIEL IVÁN LÓPEZ JUÁREZ**

**RUBÉN PAUL RODRÍGUEZ MONROY**

Director del trabajo recepcional

**M. en C. Jaime Pedro Abarca Reyna**

Codirector

**Mtro. Oscar René Valdez Casillas**

México, D.F. Octubre 2014

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

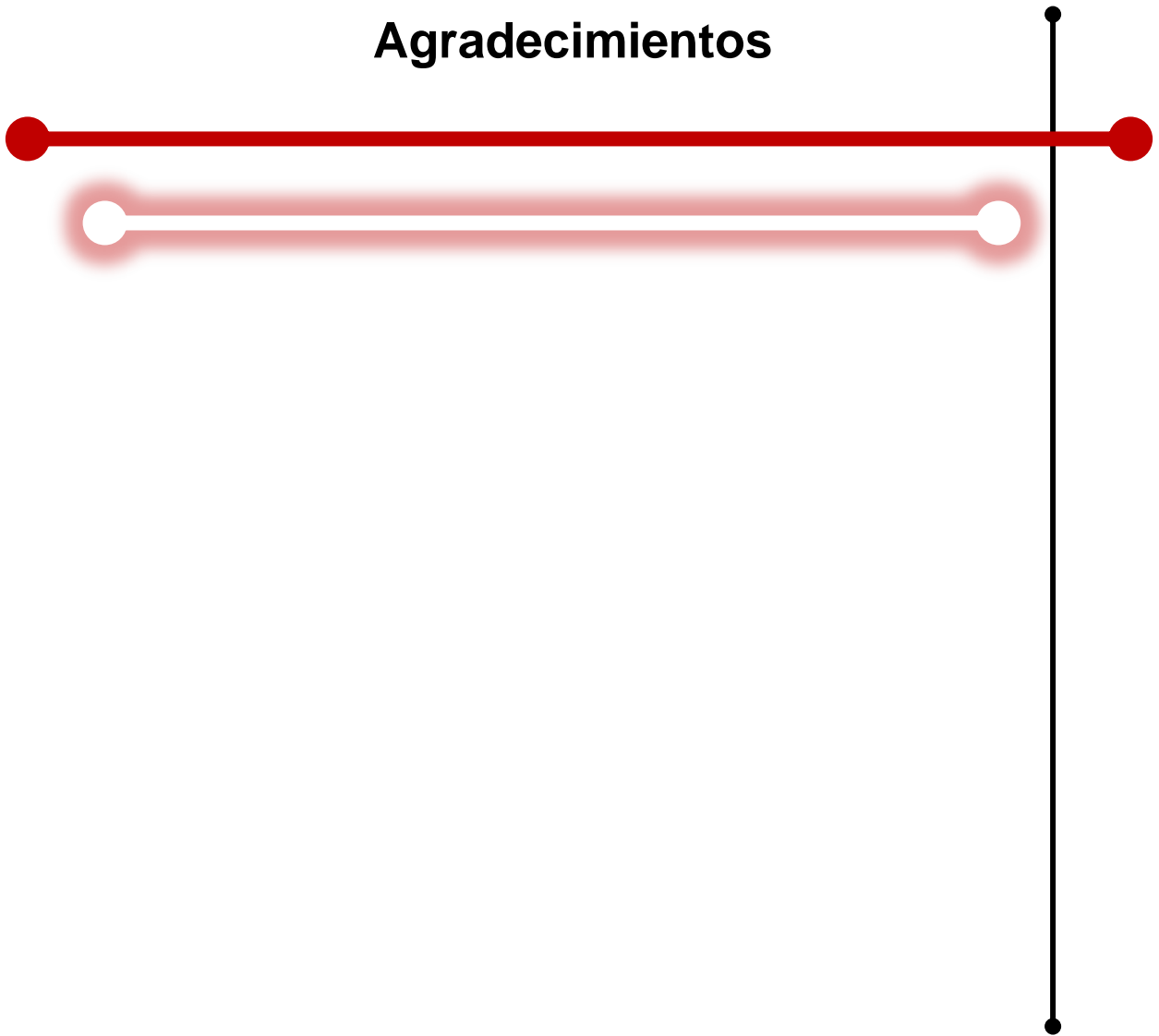
### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

### DERECHOS RESERVADOS<sup>©</sup>

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

# Agradecimientos



Como estudiante universitario se requiere de sacrificio y constancia para culminar los estudios y esto no solo se debe a mi esfuerzo sino también a las personas que con su apoyo me motivaron para hacer de este sueño una realidad.

Así que quiero agradecer a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.

A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, mi alma mater por darme la oportunidad de estudiar y terminar mi carrera como profesionista, al Instituto de Ciencia y Tecnología hoy Secretaria de Ciencia, Tecnología e Innovación por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

Agradezco a toda mi familia: a mis padres, hermanos y sobrinos, muy en especial a mis padres Concepción y Liborio, por todo el apoyo y cariño que me brindaron para que pudiera realizar este sueño, por su paciencia, por motivarme y darme la mano cuando más lo necesitaba, a ustedes por siempre mi corazón y agradecimiento.

A todos los profesores que fueron parte esencial en el transcurso de mi carrera, en especial a Oscar René, Paty Hong y Luis Enrique por los conocimientos brindados, por su apoyo y orientación.

Al profesor Jaime Pedro Abarca Reyna por su dedicación, sus conocimientos y su experiencia, gracias por su tiempo y apoyo en el desarrollo de mi formación académica.

Son muchas las personas que formaron parte de mi vida como estudiante y en esta ocasión quiero expresar mis agradecimientos a todas ellas, desafortunadamente varias se han perdido en el camino, pero aún se mantienen en mis recuerdos, agradezco muy en especial a Paul (Chino), Fabián, Oscar, Miguel (HH2), Concepción Janette, por su amistad consejos y apoyo, por brindarme su compañía en los buenos y malos momentos.

**Ivan López Juárez**

A Dios, por darme una gran familia que siempre me apoyó, a Cynthia Carolina, Marianita Fraga y Marlene, a esas grandes personas que me hubiera gustado estuvieran conmigo en esta etapa de suma importancia en mi vida, y que antes de partir me dejaron una gran enseñanza, las extraño pero sé que desde algún lugar del cielo están conmigo celebrando este gran momento.

A mi familia, a mis abuelos, tíos, primos, a mi prima la loquita que siempre me escuchó y supo cómo sacarme una sonrisa en los momentos difíciles, gracias Jessica, a mis cuñadas Karen y Carmen, a mis hermanos Geovany y Oscar por darme el mejor regalo mis sobrinitos Marianita y Zarek y por el gran apoyo que me brindaron, a mi Papá por la confianza, palabras de motivación y que siempre estuvo presente a pesar de la distancia, especialmente a una gran persona que siempre estuvo conmigo en las buenas y en las malas, a esa gran mujer que supo cómo motivarme y orientarme para seguir adelante en este proceso, a esa gran amiga que me faltan palabras para describirla gracias mamá, te quiero mucho.

A los maestros, Oscar René, Enrique y a la maestra Paty, por la amistad, consejos y conocimientos que me brindaron a lo largo de mi carrera.

A mi asesor Jaime Pedro Abarca, pieza fundamental en la culminación de mi carrera, por su tiempo, conocimientos transmitidos, orientación y ayuda que me brindó.

A mis amigos Oscar, Fabián, Conchita, por las cosas inolvidables que pase con ellos en la estancia de la Universidad, y por supuesto a mi compañero y amigo Iván que juntos estuvimos en este largo viaje, en este largo y duro proceso que tomó la carrera.

A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, mi segundo hogar, centro de enseñanza y formación de mis estudios y al ICyT por el apoyo que nos brindaron en la realización de este proyecto.

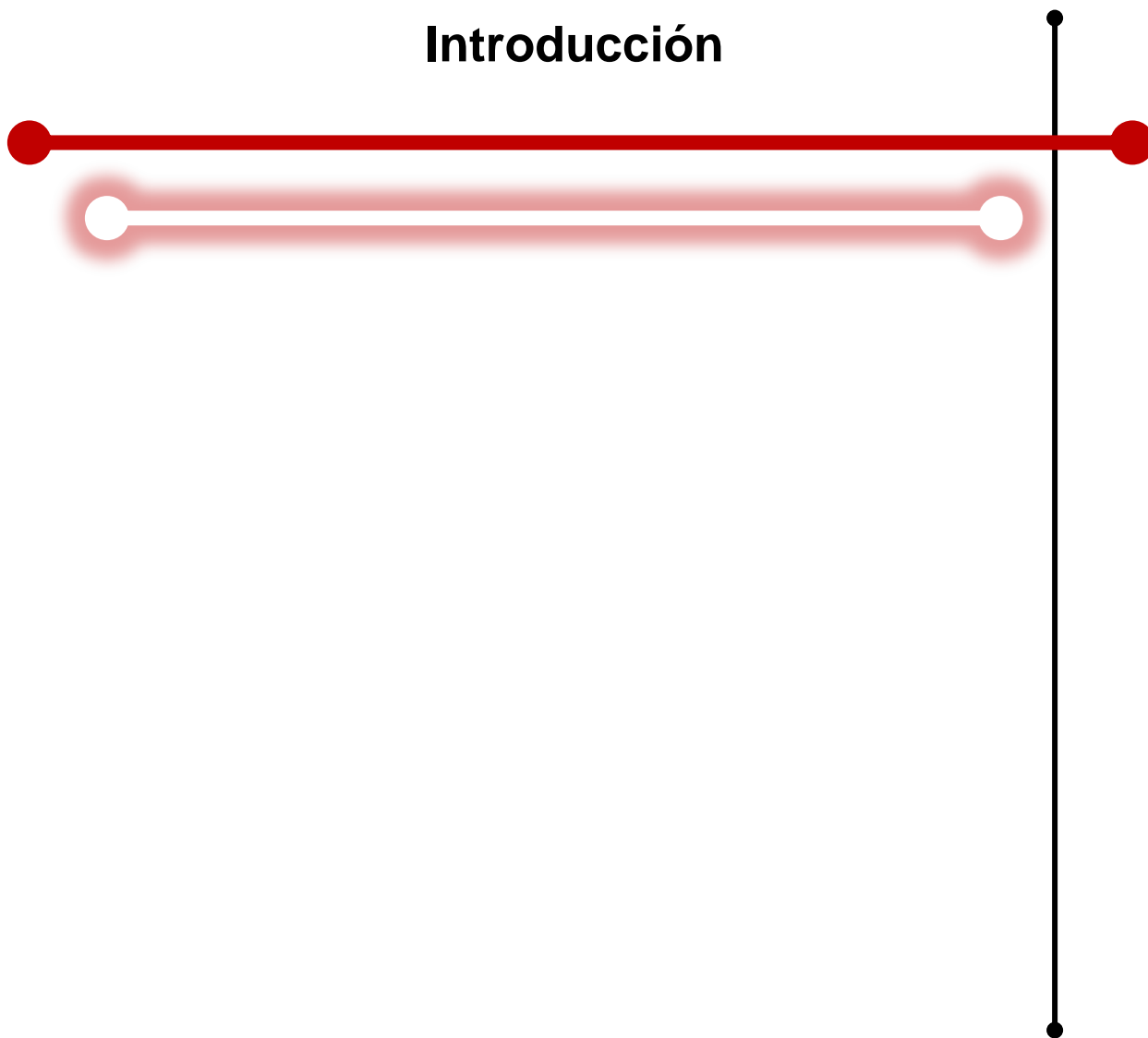
**Rubén Paul Rodríguez**

**Objetivos**



- ✘ Estudiar los fundamentos de las tecnologías GPS e IEEE802.11.
- ✘ Diseñar un sistema de localización basado en las tecnologías GPS e IEEE802.11.
- ✘ Analizar y seleccionar el hardware necesario para el Dispositivo Móvil Localizador.
- ✘ Analizar y seleccionar el software necesario para el desarrollo del Centro de Asistencia Local.
- ✘ Configurar y caracterizar de forma individual cada elemento del sistema, en hardware y software.
- ✘ Diseñar e implementar una red WLAN externa basada en el estándar IEEE802.11.
- ✘ Integrar el sistema y desarrollar un protocolo de pruebas.

# Introducción



Por naturaleza el ser humano envejece, este envejecimiento viene acompañado en su mayoría por enfermedades crónico-degenerativas, demenciales o discapacidades. La demencia Alzheimer es un padecimiento que se presenta con alta probabilidad en personas de la tercera edad, esto significa que 603,323 de la población total en México podrían presentar este padecimiento. En nuestro país, México, en la actualidad 10,055,379 de los habitantes son de la tercera edad, es decir, el 7% y se prevé que para el año 2020 esta cifra se incremente a 12.5% y 28% para el año 2050. El panorama no es favorable, ya que esto será un problema de salud pública, por lo que es conveniente tomar medidas y prepararnos como país. Es claro que no se puede evitar, sin embargo es posible generar ideas que ayuden a minimizar los extravíos en la mayor medida posible.

Teniendo en cuenta esta problemática, y considerando que en algunos años se agudizará, en este trabajo se plantea una propuesta, que desde nuestro punto de vista, permitirá brindar apoyo para localización de personas que padezcan esta demencia o que tengan algún tipo de discapacidad. Complacería a los lectores y a nosotros determinar de forma cuantitativa la ayuda que este sistema ofrecería.

La propuesta es un sistema de localización GPS gestionado por medio de una red WLAN que facilite la localización de personas de la tercera edad, ya sea que tengan alguna discapacidad o demencia, o no. Por supuesto que este sistema sería para personas discapacitadas.

Evidentemente estamos conscientes de que no es el primer sistema de localización; en el mercado existen diferentes compañías que ofrecen este servicio de localización pero es necesario cubrir un costo, renta o mensualidad para adquirir este servicio. Por ejemplo:

1. La empresa Global AVL en España ofrece un servicio de localización para personas con padecimientos médicos pero es necesario comprar el dispositivo localizador, tener una tarjeta SIM y además se tiene que cubrir un costo adicional.
2. El sistema de localización y rastreo satelital en México SRS ofrece el servicio de localización de vehículos a través de una computadora con GPS y un módulo celular GSM/GPRS, además de tener que comprar el equipo se necesita contratar un plan con la empresa Telcel para poder utilizar sus productos.
3. La empresa HispaBlue de Madrid España ofrece productos para la localización de personas, vehículos y mascotas vía GPS desde su teléfono móvil, la geolocalización se realiza mediante mensajes SMS o por llamadas telefónicas, en el mismo caso se necesita contar con una tarjeta SIM y cubrir un plan en alguna compañía de telefonía celular.

4. Por último la empresa canadiense LAIPAC ofrece un sistema de localización personal S-911, el cual envía una alerta de emergencia a sus servidores mediante la red GSM, cuenta con un sensor de gravedad, asistencia SOS, almacenamiento de datos, informes en tiempo real; como en los ejemplos anteriores se debe de pagar por el producto y se tiene que pagar una renta.

Una familia que no sea de escasos recursos podría, sin problema, contratar alguno de los servicios que ofrecen las compañías mencionadas. Pero, qué pasa con los que no tienen una solvencia económica y viven al día, y presentan una situación como la que se ha planteado. Para este sector de la población es que está pensado este proyecto, personas de escasos recursos. El trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se desarrolla la historia de la navegación constituida por satélites, destacando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), describiendo los segmentos que lo conforman, el sistema de coordenadas que utiliza, la estructura de una señal GPS y sus principales aplicaciones.

En el capítulo 2 se presenta una introducción del estándar IEEE 802.11. Se muestran las diferentes versiones del estándar, se brinda una descripción resumida de cada uno, se presentan características como: topologías, capa física, capa MAC y seguridad.

En el capítulo 3 se describe la importancia de una base de datos, enunciando: Modelos de bases de datos, diseño, lenguaje de consultas (SQL), además se presenta el tema conexión remota por *sockets*, resaltando las capas del modelo TCP/IP en que se basa la conexión, desarrollando brevemente los tipos de arquitectura P2P y cliente/servidor.

En el capítulo 4 se plantean las necesidades y características del sistema describiendo los diferentes bloques que lo conforman. Se explica la selección de los elementos y se presenta una propuesta de diseño.

En el capítulo 5 se detallan los elementos que conforman los bloques del sistema, se plantea la red basada en el estándar IEEE 802.11b/g para la integración de los diferentes elementos. Se implementó una simulación para observar el alcance de la red. Por último se presentan las pruebas que se realizaron en los alrededores del plantel Casa Libertad de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Finalmente presentamos las conclusiones y el trabajo futuro.

**Contenido**



Agradecimientos.	II
Objetivos.	V
Introducción.	VII
Contenido.	X
Índice de figuras y tablas.	XIV

## Capítulo 1.

<b>Sistema de Posicionamiento Global, GPS.</b>	<b>1</b>
1.1. Historia de la navegación asistida por satélite.	3
1.2. Sistema de posicionamiento Global Diferencial.	5
1.3. Segmentos del sistema.	7
1.3.1. Segmento espacial.	8
1.3.2. Segmento de control.	9
1.3.3. Segmento de usuario.	12
1.4. Sistemas de coordenadas.	13
1.5. Ubicación de un usuario en la Tierra.	16
1.6. Estructura de una señal GPS.	20
1.7. Precisión horizontal, vertical y errores que afectan a la precisión.	26
1.8. Protocolo de comunicación NMEA 0183.	31
1.9. Aplicaciones y servicios del sistema GPS.	35
Referencias.	38

## Capítulo 2.

<b>Redes WLAN, basadas en el estándar IEEE802.11(b/g).</b>	<b>41</b>
2.1. Introducción.	42
2.1.1. Versiones.	42
2.2. Topologías propuestas en IEEE802.11.	46
2.3. Capa física.	47
2.4. Capa MAC.	53
2.4.1. CSMA/CA.	53
2.5. Seguridad.	56
2.5.1. Autenticación y cifrado inalámbrico.	56
2.5.2. WEP.	57

2.5.3. WPA.	57
2.5.4. WPA2.	58
Referencias.	60

### Capítulo 3.

#### **Bases de datos y conexión remota por sockets. 62**

3.1 Bases de datos.	63
3.1.1. Esquema Entidad/Relación.	63
3.1.2. Modelo relacional.	67
3.1.3. Diseño de una base de datos.	68
3.1.4. Lenguaje Estructurado de Consultas SQL ( <i>Structured Query Language</i> ).	69
3.2 Protocolos TCP y UDP.	71
3.3. Conexión remota por sockets.	75
Referencias.	85

### Capítulo 4.

#### **Diseño del sistema. 87**

4.1. Motivación.	88
4.2. Necesidades y características del sistema.	89
4.3. Funcionamiento del sistema.	91
4.4. Análisis de las tecnologías inalámbricas a utilizar.	92
4.5. Selección de elementos para el Dispositivo Móvil Localizador.	93
4.6. Selección de elementos para el Centro de Asistencia Local.	100
4.7. Propuesta de diseño.	106
Referencias.	107

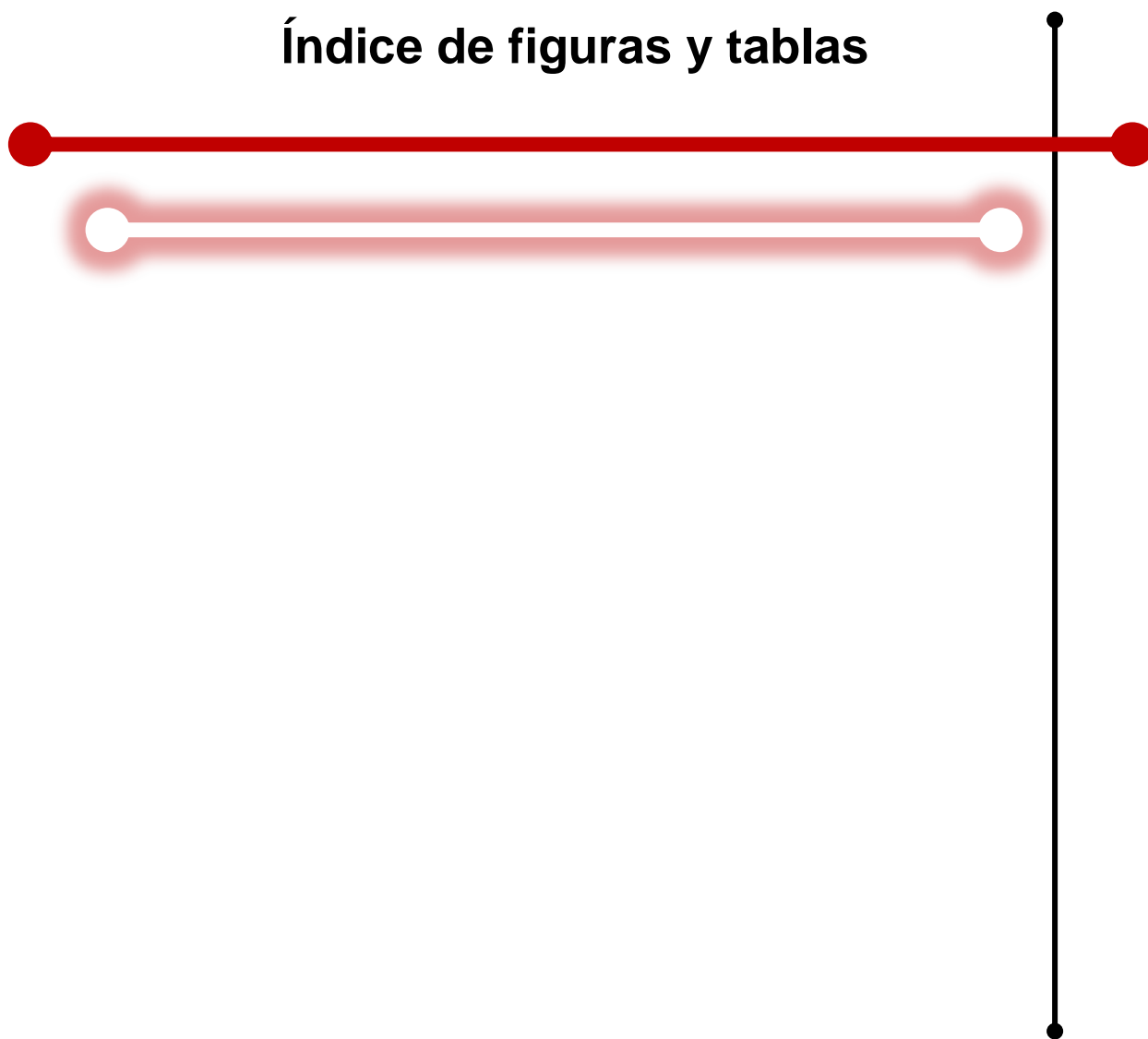
### Capítulo 5.

#### **Desarrollo del sistema. 110**

5.1. Dispositivo Móvil Localizador.	111
5.2. Centro de Asistencia Local.	131
5.2.1. Desarrollo de la base de datos.	131
5.2.2. Comunicación a la base de datos MySQL y al SIG Google Maps.	136
5.2.3. Comunicación entre CAL y el DML.	139

5.2.4. Descripción de los elementos de la interfaz gráfica del CAL.	141
5.3. Integración del sistema.	150
5.3.1. Análisis de la cobertura de la red.	151
5.4. Pruebas de cobertura.	154
5.5. Pruebas del sistema.	158
5.6. Costo del sistema.	162
Referencias.	164
<b>Conclusiones.</b>	<b>166</b>
<b>Siglas y acrónimos.</b>	<b>170</b>
<b>Anexos.</b>	<b>178</b>
Anexo A.	179
Anexo B.	185

# Índice de figuras y tablas



**Índice de figuras:****Capítulo 1: Sistema de Posicionamiento Global, GPS.**

Figura 1.1. Constelación NAVSTAR y altura de un satélite con respecto a la Tierra.	4
Figura 1.2. Ángulo de inclinación con respecto al plano ecuatorial.	5
Figura 1.3. Componentes del sistema GPS diferencial (DGPS).	6
Figura 1.4. Segmentos que componen al sistema GPS.	7
Figura 1.5. Distribución de las estaciones del segmento del control.	10
Figura 1.6. Comunicación entre la estación de monitoreo y los elementos del sistema GPS.	11
Figura 1.7. Elementos que componen el receptor GPS.	12
Figura 1.8. Latitud y longitud de un punto sobre la esfera.	13
Figura 1.9. Paralelos, meridianos y origen de referencia (ángulos).	14
Figura 1.10. Sistema de coordenadas cartesianas.	14
Figura 1.11. Radio de la esfera o distancia del satélite al receptor GPS.	18
Figura 1.12. Radios de las esferas o distancia de dos satélites con respecto al receptor GPS.	188
Figura 1.13. Determinación de la posición con tres esferas con respecto al receptor GPS.	19
Figura 1.14. Estructura de una señal GPS.	21
Figura 1.15. Modulación BPSK.	21
Figura 1.16. Mensaje de navegación.	22
Figura 1.17. Estructura, composición y generación de datos de navegación GPS.	26
Figura 1.18. Error de efemérides.	29
Figura 1.19. Capas atmosféricas.	29
Figura 1.20. Trayectorias múltiples debido a los objetos cercanos del receptor.	30
Figura 1.21. Sentencia \$GPRMC.	34

**Capítulo 2: Redes WLAN, basadas en el estándar IEEE802.11(b/g).**

Figura 2.1. Topología IBSS o Ad-Hoc.	46
Figura 2.2. Topologías BSSS o infraestructura.	47
Figura 2.3. Subcapas de la capa física.	47
Figura 2.4. Formato de la trama PLCP.	48
Figura 2.5. Intercambio de información entre la capa MAC y PHY.	48
Figura 2.6. Esquema de modulación OFDM.	49
Figura 2.7. Espectro de los canales de frecuencia en la banda 2.4GHz.	51

Figura 2.8. Espectro de los canales de frecuencia en la banda 5GHz.	52
Figura 2.9. Comunicación entre dos terminales enviando tramas RTS, CTS y ACK.	54
Figura 2.10. Formatos de trama RTS, CTS y ACK.	54
Figura 2.11. Subcampos del campo del control de trama.	55
Figura 2.12. Autenticación 802.1x.	58
 Capítulo 3: Bases de datos y conexión remota por <i>sockets</i> .	
Figura 3.1. Representación de entidades fuerte y débil.	64
Figura 3.2. Representación de atributos.	64
Figura 3.3. Representación de relaciones.	65
Figura 3.4. Ejemplo del modelo Entidad/Relación.	65
Figura 3.5. Representación de relaciones uno a uno.	66
Figura 3.6. Representación de relaciones uno a muchos.	66
Figura 3.7. Representación de relaciones muchos a muchos.	67
Figura 3.8. Definición de datos SQL.	70
Figura 3.9. Formato de mensaje TCP.	72
Figura 3.10. Formato de mensaje UDP.	74
Figura 3.11. Encapsulado de datos TCP/IP.	75
Figura 3.12. Protocolos del modelo TCP/IP.	76
Figura 3.13. Paquete IPv4, datagrama.	77
Figura 3.14. Direcciones IP.	79
Figura 3.15. Arquitectura P2P.	83
Figura 3.16. Arquitectura cliente/servidor.	83
 Capítulo 4: Diseño del sistema.	
Figura 4.1. Sistema de localización.	90
Figura 4.2. Funcionamiento del sistema.	92
Figura 4.3. Diagrama de bloques del DML.	93
Figura 4.4. Tarjeta de desarrollo EASYPIC6.	96
Figura 4.5. Distribución de pines del PIC16F887.	98
Figura 4.6. Elementos que constituyen el DML.	100
Figura 4.7. Diagrama de bloques del CAL.	101
Figura 4.8. Lenguajes de programación que permiten el acceso a la base de datos.	103

Figura 4.9. Elementos que constituyen el CAL.	105
Figura 4.10. Propuesta de diseño del sistema de localización GPS vía una red WLAN.	106
Capítulo 5: Desarrollo del sistema.	
Figura 5.1. Mensaje \$GPRMC.	111
Figura 5.2. Mensajes NMEA que envía el receptor GPS LR9552.	113
Figura 5.3. Mensaje \$GPRMC enviado por el módulo LR9552.	114
Figura 5.4. Conexión entre dispositivos, en el display se muestra el mensaje \$GPRMC.	115
Figura 5.5. Tarjeta de evaluación MT/KIT3 y módulo MT810SWM-IP.	115
Figura 5.6. Comunicación Ad-Hoc entre tres elementos, dos computadoras y el módulo MT810SWM-IP.	117
Figura 5.7. Resultados de la comunicación en modo Ad-Hoc.	119
Figura 5.8. Comunicación Ad-Hoc entre tres elementos, una computadora, el módulo MT810SWM-IP y el PIC16F887.	119
Figura 5.9. Configuración del módulo MT810SWM-IP por medio del PIC16F887, para establecer la comunicación de modo Ad-Hoc.	120
Figura 5.10. Resultados de la comunicación en modo Ad-Hoc gestionada por el PIC16F887.	120
Figura 5.11. Comunicación infraestructura entre tres elementos, dos computadoras y el módulo MT810SWM-IP	121
Figura 5.12. Resultados de la comunicación en modo Infraestructura.	122
Figura 5.13. Configuración del módulo MT810SWM-IP por medio del PIC16F887, para establecer la comunicación de modo infraestructura.	123
Figura 5.14. Resultados de la comunicación en modo Infraestructura gestionada por el PIC16F887.	123
Figura 5.15. Interconexión de los elementos que conforman el DML.	124
Figura 5.16 Distribución de pines del circuito integrado SN74LS244N.	124
Figura 5.17. Interconexión de los elementos a través del buffer.	126
Figura 5.18. Interacción de los componentes. a) modo espera y b) atendiendo solicitud.	127
Figura 5.19. Diagrama eléctrico del DML desarrollado en Altium.	128
Figura 5.20. Circuito impreso y dimensiones del DML.	129
Figura 5.21. Comunicación del Dispositivo Móvil Localizador completo en modo infraestructura.	130
Figura 5.22. Elementos que componen al CAL.	131
Figura 5.23. Modelo Entidad/Relación empleado para el desarrollo de la base de datos.	132

Figura 5.24. Tablas de la base de datos.	133
Figura 5.25. Tabla de usuarios.	134
Figura 5.26. Tabla de reportes.	135
Figura 5.27. Comunicación entre el navegador y MySQL por medio de PHP.	137
Figura 5.28. Comunicación entre el navegador y Google Maps.	138
Figura 5.29. Asignación de signos debido a la distribución geográfica.	139
Figura 5.30. Comunicación entre el CAL y el DML.	140
Figura 5.31. Pantalla principal: 1.- Botón de alerta. 2.- Información o datos de usuario, 3.- Ubicación de usuario, 4.- Enlace de consultas y reportes y 5.- Integrantes del equipo.	141
Figura 5.32. Botón de alerta en espera y botón cuando recibe un mensaje de auxilio.	142
Figura 5.33. Información del usuario.	142
Figura 5.34. Ubicación del usuario.	143
Figura 5.35. Enlace consultas y reportes.	144
Figura 5.36. Desarrolladores del proyecto.	144
Figura 5.37. Pantalla de consultas: 1.- Consultas por ID, apellido paterno, por prioridad y mostrar todo, 2.- Botón de alerta y 3.- Integrantes del equipo.	145
Figura 5.38. Consultas por ID.	146
Figura 5.39. Consultas por apellido paterno.	146
Figura 5.40. Consultas por prioridad.	147
Figura 5.41. Se visualizan todos los usuarios registrados en la base de datos.	147
Figura 5.42. Pantalla de reportes: 1.- Reportes por día, mes y año, 2.- Botón de alerta y 3.- Integrantes del equipo.	148
Figura 5.43. Reportes por día.	149
Figura 5.44. Generación de la tabla de reportes.	149
Figura 5.45. Diagrama lógico de la red.	150
Figura 5.46. Diagrama físico de la red.	150
Figura 5.47. Cobertura, distancia entre la antena transmisora y antena receptora.	151
Figura 5.48. Resultados obtenidos para la cobertura de la red.	153
Figura 5.49. Verificación de la activación del botón en el CAL dentro del plantel Casa Libertad.	155
Figura 5.50. Ubicación de los lugares donde se realizaron las pruebas de cobertura.	155
Figura 5.51. Mapas de los lugares donde se generaron los mensajes de auxilio: a) puente de Zaragoza, b) puente frente al Elektra y c) estacionamiento del Soriana.	157

Figura 5.52. Reportes generados en los tres sitios de las pruebas.	158
Figura 5.53. Red externa para implementación de pruebas.	159
Figura 5.54. Pulsando botón de auxilio.	159
Figura 5.55. Activación del botón de emergencia cuando se ha recibido un mensaje de auxilio.	160
Figura 5.56. Información y ubicación de un usuario.	160
Figura 5.57. Generación de un reporte en la base de datos.	161

**Índice de tablas:**

## Capítulo 1: Sistema de Posicionamiento Global, GPS.

Tabla 1.1. Constantes geométricas de la elipse en WGS-84.	16
Tabla 1.2. Definición de los datos de las efemérides.	255
Tabla 1.3. Registro de un mensaje de almanaque.	255
Tabla 1.4. Identificadores <i>Talker</i> .	32
Tabla 1.5. Formato de sentencias aprobadas por el estándar.	33

## Capítulo 2: Redes WLAN, basadas en el estándar IEEE802.11(b/g).

Tabla 2.1. Estándares de la red 802.11.	45
Tabla 2.2. Técnicas de modulación utilizadas por el estándar IEEE802.11 a/g.	50
Tabla 2.3. Canales de frecuencia, americana y europea.	51
Tabla 2.4. Número de canales operando.	52

Capítulo 3: Bases de datos y conexión remota por *sockets*.

Tabla 3.1. Ejemplo de la estructura del modelo relacional.	67
Tabla 3.2. Banderas del campo <i>code</i> bits.	73
Tabla 3.3. Servicios asignados para UDP.	74
Tabla 3.4. Valor del tipo de servicio.	77
Tabla 3.5. Dirección de la red a la que pertenece la terminal.	80
Tabla 3.6. Primitivas de socket para TCP.	81
Tabla 3.7. Servicios asignados para TCP.	82

## Capítulo 4: Diseño del sistema.

Tabla 4.1. Características de los receptores GPS.	94
Tabla 4.2. Características del PIC16F887.	97
Tabla 4.3. Características de los módulos inalámbricos.	98
Tabla 4.4. Características de las tarjetas de evaluación WiFi.	99

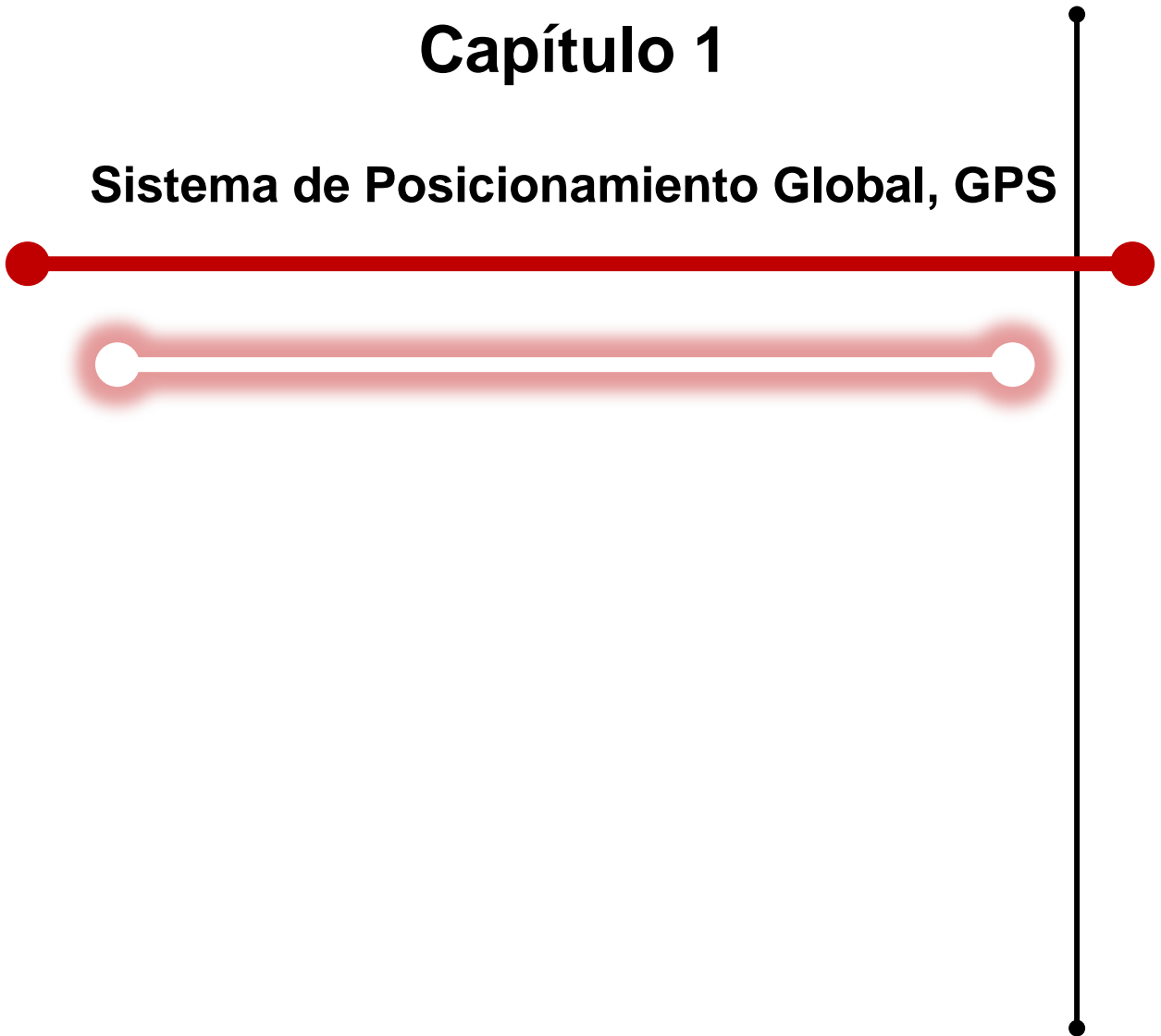
## Capítulo 5: Desarrollo del sistema.

Tabla 5.1. Contenido del mensaje \$GPRMC.	112
Tabla 5.2. Comandos de configuración AT para el módulo MT810SWM-IP.	116
Tabla 5.3. Comandos para la configuración del módulo MT810SWM-IP en modo Ad-Hoc.	117
Tabla 5.4. Verificación de conexión a la red por medio de los LED's.	118
Tabla 5.5. Comandos AT para comunicación infraestructura.	121

Tabla 5.6. Tabla de verdad del circuito integrado SN74LS244N.	125
Tabla 5.7. Acciones que debe realizar el buffer.	125
Tabla 5.8. Primitivas de sockets que se utilizan en TCP para realizar una conexión.	140
Tabla 5.9. Tabla de direcciones IP de los diferentes elementos que conforman la red.	151
Tabla 5.10. Valores para la simulación en MATLAB.	153
Tabla 5.11. Activación de los mensajes de alerta en los tres sitios de prueba.	156
Tabla 5.12. Costos del desarrollo del sistema.	162
Tabla 5.13. Costo del sistema.	163

# Capítulo 1

## Sistema de Posicionamiento Global, GPS



### 1.1. Historia de la navegación asistida por satélite.

A principios del siglo XX la localización marítima y aérea se realizaba mediante las señales de radio que se transmitían sobre la Tierra, a este método se le conocía como radionavegación, el cual se utilizaba para determinar la posición de barcos o aviones. Los primeros experimentos realizados sobre posicionamiento se inician en la segunda guerra mundial con algunos sistemas como el OMEGA que pertenecía a los Estados Unidos de América, el sistema DECCA del Reino Unido o el ALPHA de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas [1]. Estos sistemas transmitían en frecuencias alrededor de los 100KHz, al trabajar con este tipo de frecuencias el alcance de las señales es mayor y se tiene una mejor cobertura terrestre que al trabajar con frecuencia más altas.

El problema de la cobertura y de la precisión fue resuelto al implementar los transmisores en los satélites artificiales, y en el año de 1959 nace el satélite *Vanguard*, con el cual se demostró el funcionamiento básico de radionavegación espacial, al probar que el efecto *Doppler* variaba en función de la localización del observador. Esta demostración fue la base para el sistema *Transit* que fue desarrollado para la Marina de los Estados Unidos. Otro sistema estaba siendo desarrollado por las Fuerzas Aéreas Norteamericanas llamado GPS (*Global Positioning System*), en la actualidad este sistema ofrece una cobertura mundial y un error de navegación de 7.8 metros [2].

Existe un concepto conocido como Sistema Global de Navegación por Satélite (*Global Navigation Satellite System*, GNSS) que se encarga de unir en un término genérico todos los tipos de navegación existentes y de localización vía satélite; con este término lo que se busca es hacer referencia a la navegación y posicionamiento civil, entre otros. Los más conocidos son el GPS (de los Estados Unidos de América), GLONASS (Global Navigation Satellite Systems, de Rusia) y el sistema Galileo (de la Unión Europea) [3].

La primera constelación de satélites que se puso en órbita quedó instalada en 1964, la cual tenía el nombre de *Transit*, dicha constelación se conformaba con seis satélites que se encontraban a una altura de aproximadamente 1070Km.

La siguiente constelación se conformó por 11 satélites, a esta constelación se le conoció como Bloque I; el primer satélite de esta serie fue lanzado en febrero de 1978 y el último en octubre de 1985. La principal razón del lanzamiento de estos satélites fue con fines experimentales, el ángulo de inclinación con respecto del ecuador que tenían fue de 63°. La vida útil del Bloque I fue prevista para cuatro años y medio, aunque algunos duraron mucho más tiempo, por ejemplo el último satélite quedó fuera en noviembre de 1995.

Algunos años después nació la segunda generación de satélites que se puede dividir en dos partes, el Bloque II y el Bloque IIA, siendo esta última una versión avanzada del Bloque II, las mejoras para el Bloque IIA consisten en el aumento de la capacidad de mensajes de navegación y que pueden funcionar sin la necesidad de apoyo terrestre durante 180 días. En el periodo de febrero de 1989 a noviembre de 1997 se pusieron en órbita 28 satélites. El ángulo de inclinación para esta constelación fue de  $55^\circ$  con respecto del ecuador y su vida útil fue concebida de siete años y medio, pero fue superada por la mayoría de los satélites.

A la tercera generación de satélites se le conoce como Bloque IIR, estos satélites se utilizaron para reponer a los de la segunda generación, es decir, que eran compatibles entre ellos. Lo anterior con la finalidad de que el cambio de satélites fuera transparente para las personas que utilizaban este servicio. Esta nueva generación está constituida por 21 satélites con una vida útil de alrededor de 10 años; como se esperaba esta serie de satélites tienen una mayor precisión, además de que tienen la capacidad de funcionar de manera autónoma por al menos 180 días sin ayuda terrestre. A esta nueva capacidad se le llamó navegación autónoma.

La constelación de satélites GPS está conformada por 24 satélites y se terminó de colocar en órbita en julio de 1993, pero fue hasta el 17 de julio de 1995 cuando ofreció un servicio completo, este sistema se encuentra orbitando sobre la Tierra a una distancia de aproximadamente 20,200Km, como se puede observar en la figura 1.1. A esta constelación también se le conoce como NAVSTAR (*Navigation Satellite for Timing and Ranging*).

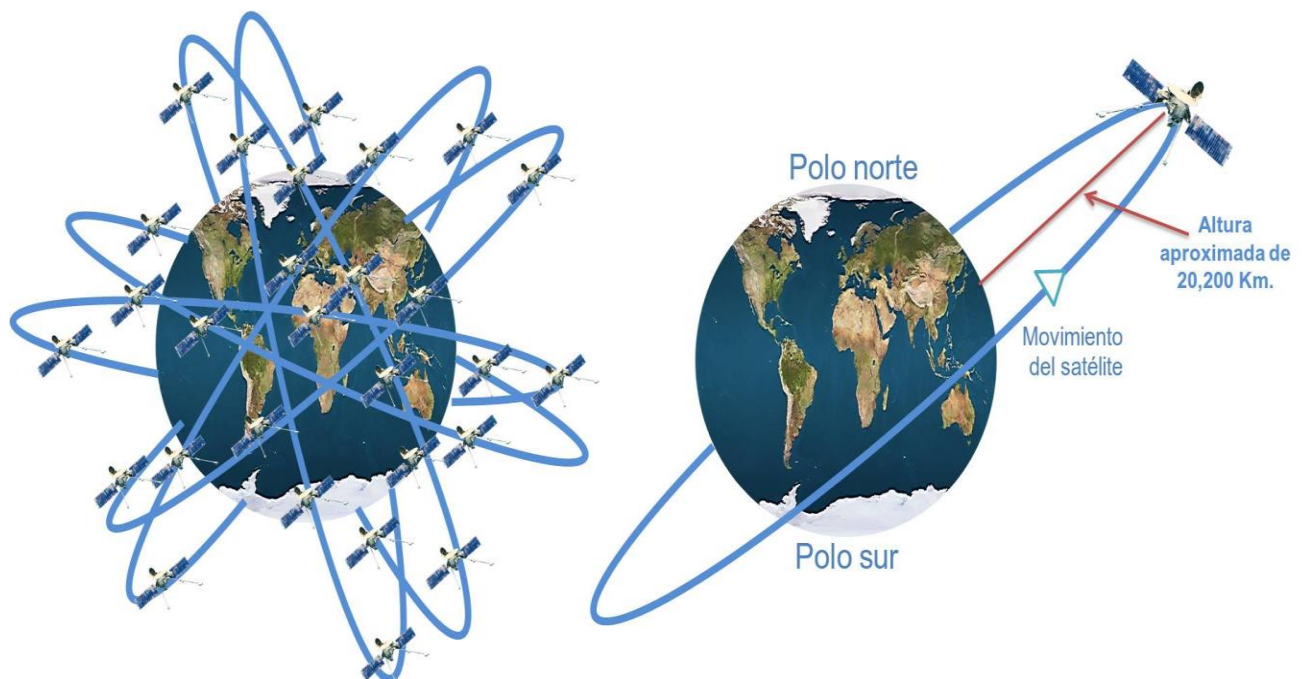


Figura 1.1. Constelación NAVSTAR y altura de un satélite con respecto a la Tierra.

Estos satélites se encuentran posicionados en seis planos orbitales que son prácticamente circulares, y dentro de cada órbita hay cuatro satélites que se encuentran separados cada uno de ellos por  $90^\circ$ . Cada satélite tarda en promedio 12 horas en dar una vuelta a la Tierra, estas órbitas forman un ángulo de  $55^\circ$  con respecto con el ecuador (figura 1.2) y los planos orbitales tienen una separación de  $60^\circ$ . Esta inclinación de  $55^\circ$  asegura que al menos cuatro satélites sean visibles durante por lo menos cinco horas, lo que hace posible una medición de 24 horas seguidas, es decir se garantiza que al menos cuatro satélites se encuentren sobre el horizonte en todos los lugares de la superficie de la Tierra. Se necesitan al menos tres satélites para marcar una ubicación, pero mientras mayor sea el número de satélites será más precisa la indicación de la posición de un receptor GPS sobre la Tierra.

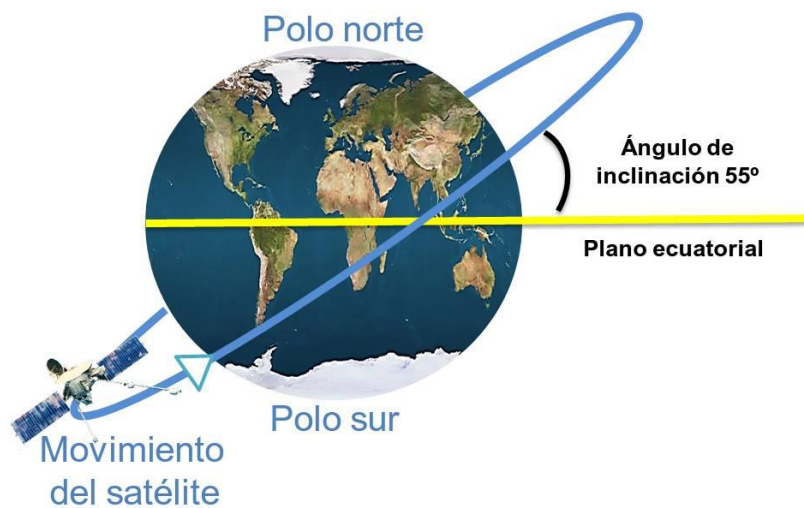


Figura 1.2. Ángulo de inclinación con respecto al plano ecuatorial.

El sistema GPS fue desarrollado para fines principalmente militares, pero el Departamento de Defensa DOD (*Department Of Defense*) llegó a un acuerdo para que el uso de este sistema también fuera civil, dando como resultado el Servicio de Posicionamiento Estándar SPS (*Standard Positioning Service*), que es una versión anterior del GPS. En el año 1983 el DOD anuncia importantes cambios, como hacer que el sistema SPS sea utilizado a nivel mundial y con fines civiles, quedando establecida una precisión de 100 metros.

## 1.2. Sistema de posicionamiento Global Diferencial.

La principal razón por la cual se ha dado paso a la evolución del sistema GPS es que la industria, los servicios y las aplicaciones comerciales o civiles y militares exigen un incremento en la potencia de la señal, la mejora de la exactitud para reducir el margen de la distancia medida en metros y que se pueda tener una interacción con los nuevos proyectos y dispositivos empleados en el sistema GPS.

Debido a esta razón surge el Sistema de Posición Global Diferencial (DGPS) o GPS diferencial, [4]. Es un sistema que proporciona a los receptores GPS correcciones de los datos recibidos que emiten los satélites, con la finalidad de mejorar la precisión.

Una estación DGPS está compuesta por un receptor fijo en Tierra o una estación referenciada que conoce con exactitud su posición, recibe la posición dada por el sistema GPS y éste puede calcular los errores producidos por el sistema GPS; posteriormente se realiza una comparación con la posición que ya conocía. El receptor manda la corrección de errores a los dispositivos receptores próximos a él y, con ello, dichos dispositivos puedan hacer su propia corrección producida por el sistema que se encuentra dentro del área de servicio o cobertura de la señal transmitida del equipo GPS referenciado.

Existen dos sistemas para la corrección de errores que son llamados GPS con código diferencial y GPS con fase diferencial. Al sistema DGPS también se le conoce como GPS con código diferencial

El sistema GPS diferencial está constituido por tres componentes y lo podemos ver en la figura 1.3.

- ✘ Una estación de control fija, que obtiene los datos transmitidos por los satélites, se encarga de calcular las correcciones a introducir para cada satélite.
- ✘ Un medio para transmitir la información de corrección, por ejemplo un satélite puede formar parte de un conjunto de estaciones de control.
- ✘ Y un receptor que sea capaz de recibir la información de las correcciones del GPS diferencial.

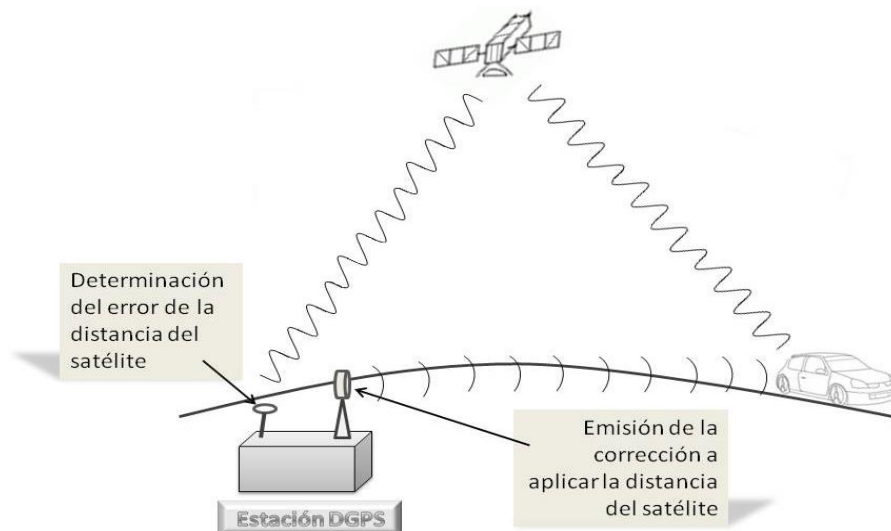


Figura 1.3. Componentes del sistema GPS diferencial (DGPS).

Con el DGPS se pueden corregir en parte los errores debidos a:

- ✘ Disponibilidad selectiva (eliminada en el año 2000).
- ✘ Propagación por ionosfera y troposfera, (figura 1.18).
- ✘ Errores en la posición del satélite.
- ✘ Errores producidos por problemas en el reloj del satélite.

El sistema con fase diferencial es distinto al de código diferencial, ya que no solo utiliza la información obtenida de la señal de cada satélite, sino que utiliza el desfase de la señal entre el punto referenciado y el punto de medición. Esta técnica suele utilizarse en trabajos topográficos que a la vez sustituye a los antiguos sistemas de medición. Al usar la fase diferencial se pueden medir objetos que se encuentren alejados a una distancia de hasta 30Km con un error de unos centímetros, cuando se supera esa distancia se producen retardos por la ionosfera lo cual no permite tener mediciones correctas [5].

### 1.3. Segmentos del sistema.

El sistema está conformado por tres segmentos: el segmento espacial; es donde se encuentran todos los satélites ocupados para el seguimiento; el segmento de control, es el lugar donde se encuentran las estaciones que se encargan de controlar los satélites; y el segmento de usuario, que comprenden a los dispositivos de los usuarios finales. En la figura 1.4 se observan los segmentos enunciados. En las siguientes secciones se describen de forma detallada.

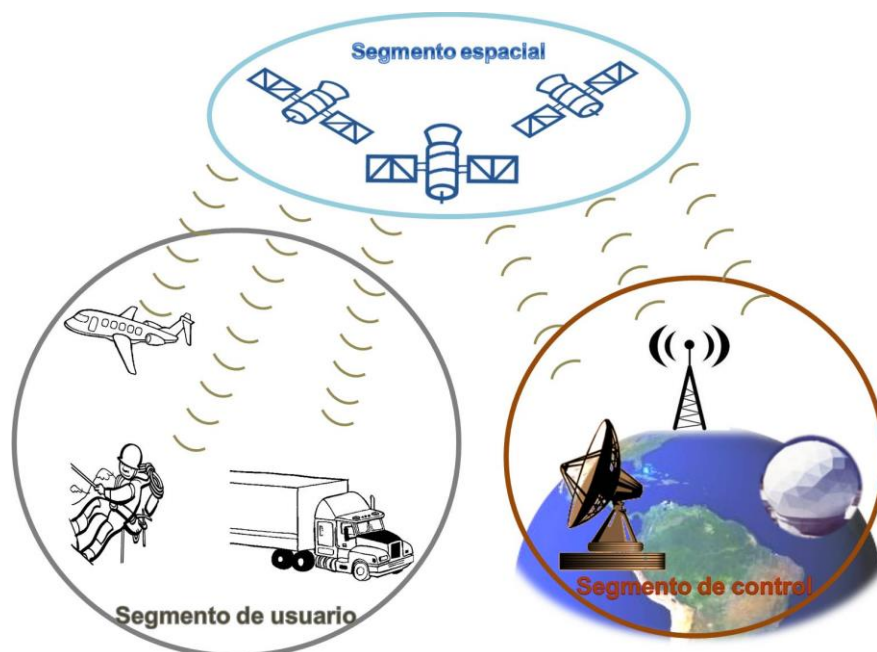


Figura 1.4. Segmentos que componen al sistema GPS.

### 1.3.1. Segmento espacial.

El segmento espacial se encuentra constituido por la llamada constelación NAVSTAR, que está formado por 24 satélites uniformemente separados alrededor de la Tierra en seis orbitas con una altitud de aproximadamente 20,200Km, con una separación de 60° entre cada orbita casi circular. Cada satélite emite una señal que tiene varios componentes:

- ✧ Dos señales sinusoidales conocidas como frecuencias portadoras.
- ✧ Dos códigos digitales.
- ✧ Un mensaje de navegación.

Los dos códigos digitales se modulan con las portadoras usando la Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria (BPSK) [6]. Los códigos y las señales portadoras se usan para determinar la distancia del receptor GPS, los mensajes de navegación indican su posición orbital así como la hora en que fue emitido el mensaje.

La señal de un reloj electrónico es producida por un oscilador que se basa en el desempeño de un resonador adecuado como un elemento estabilizador; los sistemas portables y un número de sistemas fijos utilizan varios tipos de osciladores de cuarzo. Cuando se necesita una mejor estabilidad o errores más pequeños se usan resonadores atómicos. Los relojes de rubidio y cesio tienen mejores características de envejecimiento que los simples osciladores de cristal.

Los satélites de esta constelación incluyen 4 relojes atómicos [7] 2 de cesio (Cs) y 2 de rubidio (Rb). Gracias a estos relojes el sistema podría operar de forma autónoma durante un periodo de 14 días. Estos relojes son stratum 1 o PRC (*Primary Reference Clock*) y sus especificaciones están definidas en la recomendación de la ITU (*International Telecommunication Union*) G.811, [8]. En la que se definen características como:

- ✧ Un PRC es un reloj autónomo que no necesita la entrada de otras fuentes, pero si está definida su salida.
- ✧ La precisión a largo plazo del PRC debe mantenerse en una parte en  $10^{11}$ . Esta señal sirve de sincronización y referencia a los demás relojes de una red.
- ✧ Precisión de la frecuencia: se permite una desviación de frecuencia en periodos superiores a una semana de una parte en  $10^{11}$ .
- ✧ Generación de ruido: el ruido que genera un PRC representa la cantidad de ruido de fase producido a su salida, la capacidad de este reloj para limitar el ruido está dada por la estabilidad de su frecuencia. Las medidas MTIE (*Maximum Time Interval Error*) y TDEV (*Time Deviation*) sirven para caracterizar la calidad de funcionamiento en la generación de ruido.

- ✘ Fluctuación lenta de fase: la cual se encuentra expresada en MTIE y define los siguientes límites:

$$0.275 \times 10^{-3} \tau + 0.025 \mu s \quad \text{para} \quad 0.1 < \tau \leq 1000s$$

$$10^{-5} \tau + 0.29 \mu s \quad \text{para} \quad \tau > 1000s$$

- ✘ Fluctuación de fase: se deben utilizar las especificaciones establecidas en la actualidad de forma diferente para diferentes velocidades de interfaz, ya que existen salidas de fluctuación de fase intrínseca de 2048Kbit/s y 1544Kbit/s.
- ✘ Discontinuidad de fase: los relojes primarios necesitan una fiabilidad muy alta por lo que probablemente tengan equipo repetido para asegurar la continuidad en su salida. Sin embargo, toda discontinuidad de fase producida por las operaciones internas del reloj no deberá hacer que la anchura del intervalo de la señal de temporización sea más ancha o corta, por lo tanto no provocará una discontinuidad de fase superior a 1/8 de UI (*Unit Interval*) a la salida del reloj.
- ✘ Degradación de la calidad de funcionamiento de un PRC: si se aplica redundancia y la frecuencia se aparta de su valor nominal, se deberá detectar esta desviación por lo que se procederá a conmutar a un oscilador no degradado.

Además, los relojes atómicos cuentan con un software especializado que les permite detectar errores de funcionamiento. Estos satélites se alimentan de energía solar por medio de paneles solares y cuentan con baterías de respaldo para situaciones extraordinarias, por ejemplo cuando hay eclipses. El reloj atómico de cesio experimenta un cambio energético con la emisión de una onda electromagnética cuya frecuencia depende de la naturaleza del átomo, en el cesio es igual a 9,192,631,770Hz, esta frecuencia tiene una exactitud de  $\pm 1 \times 10^{-12}$  [8].

### 1.3.2. Segmento de control.

Este segmento está formado por estaciones fijas en la Tierra que se encargan del control, mantenimiento y configuración de la constelación de satélites. También se encarga de predecir la manera en que se comportaran los relojes de los satélites y predicen su trayectoria para las siguientes horas, actualizan periódicamente los mensajes de navegación, posición orbital y la sincronización de los relojes. Las estaciones del segmento de control se encuentran distribuidas a lo largo de la superficie de la Tierra como se observa en la figura 1.5.

Este segmento consiste en una red terrestre que facilita el monitoreo de los satélites, controla las transmisiones, analiza y envía datos y comandos [9]. Esta red está conformada por:

- ✘ 1 estación de control principal.
- ✘ 1 estación de control principal alterna.
- ✘ 16 estaciones de monitoreo.
- ✘ 12 antenas y estaciones de control de Tierra.



Figura 1.5. Distribución de las estaciones del segmento del control.

La estación de control principal se encuentra localizada en el centro de operaciones espaciales en Colorado Springs en los Estados Unidos, se encarga de corregir el funcionamiento del sistema calculando las correcciones y aplicándolas a las señales provenientes de los satélites e implementa algoritmos para la corrección de los relojes atómicos que se encuentran en los satélites, así como de los relojes que se encuentran en las estaciones terrestres. La estación de control alterna entra en función cuando se presenta algún fallo en la estación de control principal.

Las estaciones de monitoreo son 16 y se encuentran ubicadas en:

- ✘ La isla de Ascensión.
- ✘ Hawai.
- ✘ Kwajalein.
- ✘ Diego García.
- ✘ En el centro de operaciones de Colorado Springs.
- ✘ Australia.
- ✘ Reino Unido.
- ✘ Corea del Sur, entre otras.

Tienen como finalidad recibir las señales emitidas por los satélites, guardar los mensajes recibidos y retransmitir esta información a la estación de control principal, donde dicha información es recibida y procesada; posteriormente es enviada a las estaciones de control de Tierra, que a su vez la transmiten a los satélites, y finalmente los satélites mandan la información a los receptores GPS en Tierra, esto lo podemos observar en la figura 1.6.

Las estaciones de monitoreo cuentan con:

- ✧ Una antena en banda L, 1-2GHz [10].
- ✧ Un receptor de cuatro canales.
- ✧ Una computadora.
- ✧ Dos relojes atómicos de cesio.

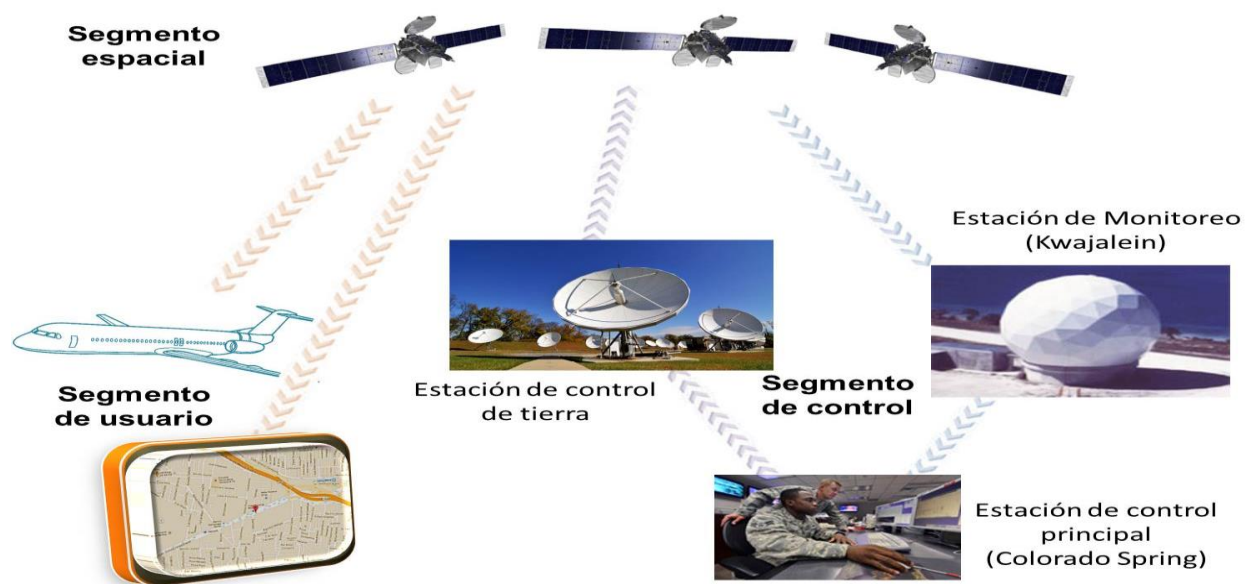


Figura 1.6. Comunicación entre la estación de monitoreo y los elementos del sistema GPS.

Las estaciones de control de Tierra se encuentran ubicadas en:

- ✧ Diego Garcia.
- ✧ La isla de Ascensión.
- ✧ Cabo Cañaveral Florida.
- ✧ Kwajalein.

Estas estaciones cuentan con 12 antenas, que se encargan de enviar datos y comandos a los satélites, además se encargan de recibir información proveniente de los satélites y que retransmiten a la estación de control principal. Las cuatro estaciones se comunican con los satélites por medio de la banda S [10].

### 1.3.3. Segmento de usuario.

Este segmento incluye a los usuarios civiles y militares. Cada receptor de usuario recibe las señales de los satélites, ya que esta información es necesaria para determinar su posición en cualquier parte del mundo. Los elementos que conforman el equipo de posicionamiento y navegación son la antena, el receptor GPS, un chip que contiene el software para realizar los cálculos y operaciones para determinar los parámetros GPS [11]; también contiene un microprocesador que se encarga de generar las secuencias pseudoaleatorias, realiza los cálculos de las pseudodistancias, además se encarga de determinar la altura y la velocidad (ver figura 1.7). Los receptores llevan un reloj de cuarzo con un oscilador que permite alcanzar una exactitud  $10^{-9}$ , utilizan un reloj de cuarzo porque los relojes atómicos como los que poseen los satélites son muy costosos, requieren de mantenimiento especializado y necesitan de un espacio amplio para ser instalados, lo ideal de un receptor es que sea accesible para la mayoría de las personas y que se pueda transportar fácilmente por lo que un reloj basado en cesio o rubidio no es una opción para los receptores GPS.

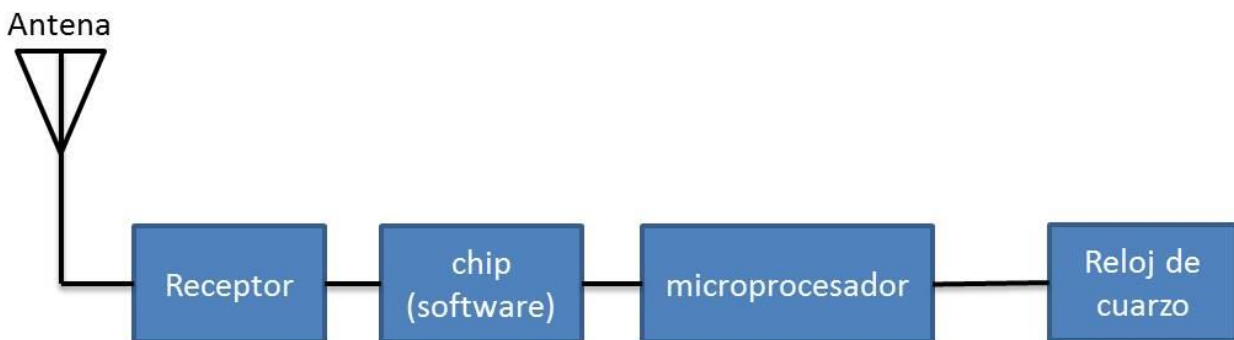


Figura 1.7. Elementos que componen el receptor GPS.

Existen receptores que cuentan con uno, dos o cuatro canales para recoger información de los satélites, la diferencia radica en que el receptor de un canal obtiene la información de los satélites por el mismo canal, es decir, se programa para obtener la medida del satélite que tiene a la vista por al menos un segundo, para readquirir la señal y verificar la medida obtenida con el siguiente satélite, y así sucesivamente hasta obtener la medida de los cuatro satélites. El receptor de dos canales, se programa para que un canal reciba la información proveniente de un satélite y determina la posición, mientras que el otro canal espera la información de la distancia del siguiente satélite. El receptor de cuatro canales recibe la información de los satélites de manera continua de cuatro hasta doce satélites a la vez, proporcionando en el mismo instante la posición y la velocidad. Es decir en lugar de obtener la información de cuatro satélites reciben las señales de todos los satélites que haya disponibles.

#### 1.4. Sistemas de coordenadas.

Un sistema de coordenadas geodésicas utiliza una superficie esférica tridimensional para definir las posiciones sobre la superficie terrestre. Cualquier punto sobre esta superficie se determina con dos ángulos medidos desde el centro de la Tierra, llamados latitud y longitud [12].

La longitud ( $\alpha$ ) de un punto es la distancia angular entre el meridiano de un lugar y el de *Greenwich*. Son círculos paralelos al ecuador y que van disminuyendo su radio conforme se acercan a los polos, estos círculos se llaman paralelos. La longitud se mide con respecto a un meridiano principal, el meridiano de *Greenwich*.

La latitud ( $\beta$ ) es la distancia angular entre el paralelo de un lugar y el ecuador. Los meridianos son las líneas que van de norte a sur y que son perpendiculares a los círculos paralelos que van de oeste a este. Se toma la línea del ecuador como referencia de latitud cero, las distancias angulares de latitud ( $\alpha$ ) y longitud ( $\beta$ ) se puede observar en la figura 1.8.

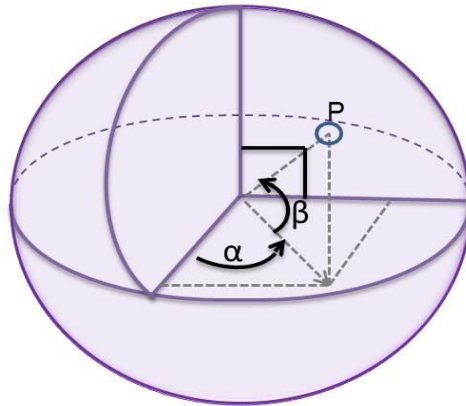


Figura 1.8. Latitud y longitud de un punto sobre la esfera.

En la figura 1.9 se muestra un ejemplo de los paralelos y los meridianos, además se puede ver como se hace una red sobre la superficie terrestre al juntar los meridianos y los paralelos, donde se cruzan el meridiano principal con la línea del ecuador es el punto de origen de referencia de la latitud y la longitud.

El ecuador divide la esfera en dos hemisferios norte y sur, de manera que la latitud al norte del ecuador será positiva y al sur será negativa; los valores son del polo sur  $-90^\circ$  y  $+90^\circ$  en el polo norte. El meridiano principal divide en dos partes en este y oeste, quedando los valores en el rango de  $-180^\circ$  oeste y  $+180^\circ$  este.

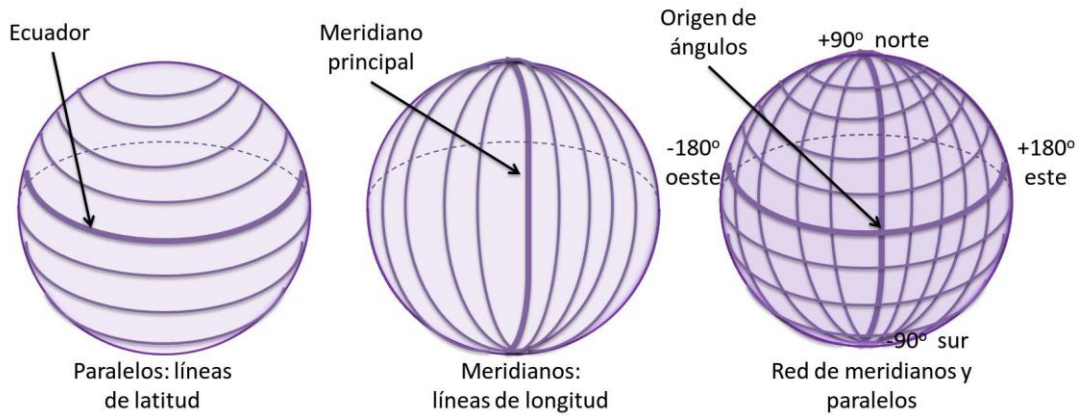


Figura 1.9. Paralelos, meridianos y origen de referencia (ángulos).

Las coordenadas cartesianas determinan la posición en un espacio tridimensional por las coordenadas X, Y y Z como se observa en la figura 1.10. Los ejes de las coordenadas se definen de la siguiente manera:

El eje X pasa por el centro de la Tierra y por el meridiano de Greenwich

El eje Y forma un ángulo de 90° con el eje X y con el eje Z.

El eje Z pasa por el centro de la Tierra y por los dos polos.

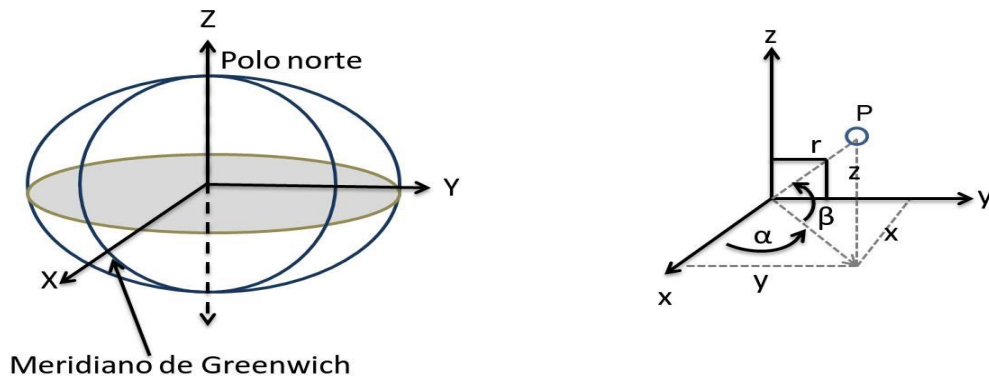


Figura 1.10. Sistema de coordenadas cartesianas.

Se pueden definir los parámetros de latitud y de longitud tomando como referencia una elipsoide, de esta manera se definen los parámetros geodésicos dependiendo de la posición de un usuario con el vector  $u = (X_u, Y_u, Z_u)$  [13]. Se puede calcular la longitud ( $\alpha$ ) como el ángulo entre el usuario y el eje X, medido en el plano X,Y, mediante la ecuación (1.1).

$$\alpha = \arctan\left(\frac{Y_u}{X_u}\right) \quad (1.1)$$

Y la latitud está definida por la ecuación (1.2):

$$\beta = \arctan\left(\frac{Z_u + e'^2 Z_o}{r}\right) \quad (1.2)$$

Donde sus parámetros son:

$e'$ : es la segunda excentricidad, tabla 1.1.

$r$ : es la distancia del usuario al origen.

$Z_0$ : está definida  $b^2 Z_u / aV$ .

$b$ : es el semieje menor de la elipse.

$a$ : es el semieje mayor de la elipse.

$V$ : es la relación  $\mu/r$ .

$\mu$ : es una constante gravitacional universal  $=3986005 \times 10^8 \text{m}^3/\text{seg}^2$ .

Un sistema de referencia para la navegación terrestre es el ECEF (*Earth Centered - Earth Fixer*) [14]. Las coordenadas para este sistema son latitud ( $\Phi$ ), longitud ( $\beta$ ) y altitud ( $h$ ), conocidas como coordenadas geodésicas. La altitud está definida como la distancia perpendicular de un elipsoide alrededor de la superficie terrestre. Pero en ocasiones también se pueden definir coordenadas cartesianas en este sistema ( $X, Y, Z$ ), el origen se ubica en el centro de la Tierra, el eje  $Z$  apunta hacia el polo norte, el eje  $X$  es paralelo al plano ecuatorial y el eje  $Y$  es ortogonal entre ellos.

En 1984 surgió el Sistema de Coordenadas Mundial Geodésicas (*World Geodetic System, WGS84*) [15]. Es un sistema ampliamente usado en la cartografía geodésica y de navegación, utilizando como referencia un punto geocéntrico en la Tierra, este tipo de coordenadas son muy diferentes de las coordenadas planas ya que el WGS84 toma en cuenta la forma geode de la Tierra, es decir toma la forma de una esfera con los polos achatados, esto debido al movimiento rotacional natural que tiene la Tierra. Además considera cambios determinados por el campo gravitacional de la Tierra ya que éste no es constante ni uniforme a través del planeta porque se ve afectado por distintas circunstancias naturales, por ejemplo: la atracción de la luna y el sol, el efecto que tienen las mareas, depende también de las estaciones del año, etcétera.

El WGS-84 es un sistema de coordenadas que utiliza el sistema GPS, donde el origen coincide con el centro de la Tierra incluyendo los océanos y la atmósfera, el eje  $Z$  se encuentra referenciado hacia el polo norte; el eje  $X$  es la intersección del meridiano de *Greenwich* y el eje ecuatorial y por último el eje  $Y$  es ortogonal a los dos ejes anteriores. Además en este sistema se definen parámetros y valores constantes que sirven para determinar las efemérides, las efemérides son parámetros que transmiten los satélites y que un receptor GPS utiliza para saber la posición del mismo, estos parámetros se muestran en la tabla 1.1.

Parámetros	Notación	Valor
Semieje mayor	a	6,378,137metros
Recíproco del achatamiento	1/f	298.257223563
Velocidad angular de la Tierra	$\omega$	$7,292,115 \times 10^{-11}$ rad/seg
Constante gravitacional de la Tierra	GM	$3,986,004.418 \times 10^8 \text{m}^3/\text{s}^2$
Semieje menor	b	6,356,752.3142metros
Primera excentricidad	e	$8.1819190842622 \times 10^{-2}$
Primera excentricidad al cuadrado	$e^2$	$6.69437999014 \times 10^{-3}$
Segunda excentricidad	$e'$	$8.2094437949696 \times 10^{-2}$
Segunda excentricidad al cuadrado	$e'^2$	$6.73949674228 \times 10^{-3}$
Excentricidad lineal	E	$5.2185400842339 \times 10^5$
Curvatura del radio polar	c	6,399,593.6258metros
Eje del radio	b/a	0.996647189335
Semieje del radio medio	$R_1$	6,371,008.7714metros
Radio del área de la esfera	$R_2$	6,371,007.1809metros
Radio del volumen de la esfera	$R_3$	6,371,000.7900metros

Tabla 1.1. Constantes geométricas de la elipse en WGS-84.

### 1.5. Ubicación de un usuario en la Tierra.

Una de las principales aplicaciones del sistema GPS es la de ubicar un usuario en la Tierra, es decir, determinar su posición en términos de latitud y longitud. Lo anterior se reduce en calcular la distancia entre dos puntos [16]. Consideremos que el punto de referencia es el satélite, si nos desplazamos alrededor de ese punto a una distancia constante sobre la Tierra, resulta en una circunferencia, cuyo radio es la distancia del satélite al punto sobre la Tierra. Este es el principio en el que se basa para determinar la ubicación de un usuario en la Tierra.

El lugar geométrico de la distancia que hay entre un receptor GPS y un satélite se determina mediante una esfera, si fueran dos satélites con el mismo receptor GPS como referencia sería una circunferencia, ahora para la distancia entre tres satélites, y el mismo receptor GPS, el lugar geométrico entre estas tres esferas sería uno o dos puntos, donde uno de ellos sería útil y el otro sería no útil, figura 1.12.

Si queremos determinar la posición de un receptor GPS, con respecto a la constelación de satélites, lo primero que se tiene que hacer es determinar la distancia que separa al receptor del satélite. Esto se logra midiendo el tiempo en que tarda en llegar la señal que envía el satélite hasta que la recibe el receptor en la Tierra; las ondas de radio viajan aproximadamente a la velocidad de la luz tomando en cuenta esto, se puede determinar la distancia [13] por medio de la ecuación (1.3).

$$\rho = C(t_r - t_s) \quad (1.3)$$

donde:

$\rho$  Es el error debido a la pseudodistancia.

$C = 299,792,458\text{m/s}$ .

$t_r$ : es tiempo cuando llega la señal al receptor.

$t_s$ : es el tiempo en el que fue enviada la señal por el satélite.

Cada satélite transmite en forma continua su código de sincronización, cuando este código le llega al receptor éste lo compara con su propio código, esta diferencia de tiempo la multiplica por la velocidad de la luz. Por ejemplo si la diferencia de tiempo es de 4 milisegundos, entonces, la distancia entre el receptor y el satélite se determina por medio de la ecuación (1.3).

$$\rho = 299,792,458 \frac{\text{m}}{\text{s}} (4 \times 10^{-3} \text{s}) = 1,199,169.832 \text{m} \quad (1.4)$$

Después de calcular la distancia del satélite, ahora se debe determinar la posición de un receptor GPS, para ello tenemos que resolver un problema de tres ecuaciones con tres incógnitas, pero debido a que el receptor se encuentra en movimiento se genera una nueva incógnita, por lo que se debe incluir un cuarto satélite para corregir este error, dando lugar a resolver cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas, a esta última incógnita se le denomina pseudodistancia, y se debe a que los relojes tanto del GPS como de los satélites no están sincronizados.

El cálculo de la posición de un usuario [13], se determina mediante la ecuación (1.5), la cual lleva incluida la ecuación de la distancia del satélite:

$$\rho(i) = \sqrt{[(X_i - X_u)^2 + (Y_i - Y_u)^2 + (Z_i - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \quad (1.5)$$

donde:

$i = 1, 2, 3, 4$ . Es número de los satélites.

$(x_u, y_u, z_u)$  Son las coordenadas cartesianas debido al usuario.

Tomando un punto de referencia en la Tierra y otro punto, que sería un satélite en el espacio, es posible determinar la distancia que existe entre ellos mediante la ecuación (1.5), la distancia entre el receptor GPS y el satélite describe el radio de una esfera alrededor del satélite, como se muestra en la figura 1.11. Para calcular la distancia se emplea la ecuación (1.6) y la información de las efemérides que envía el satélite: la hora en que fue enviada la señal, y la posición del satélite.

$$\rho(1) = \sqrt{[(X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \quad (1.6)$$

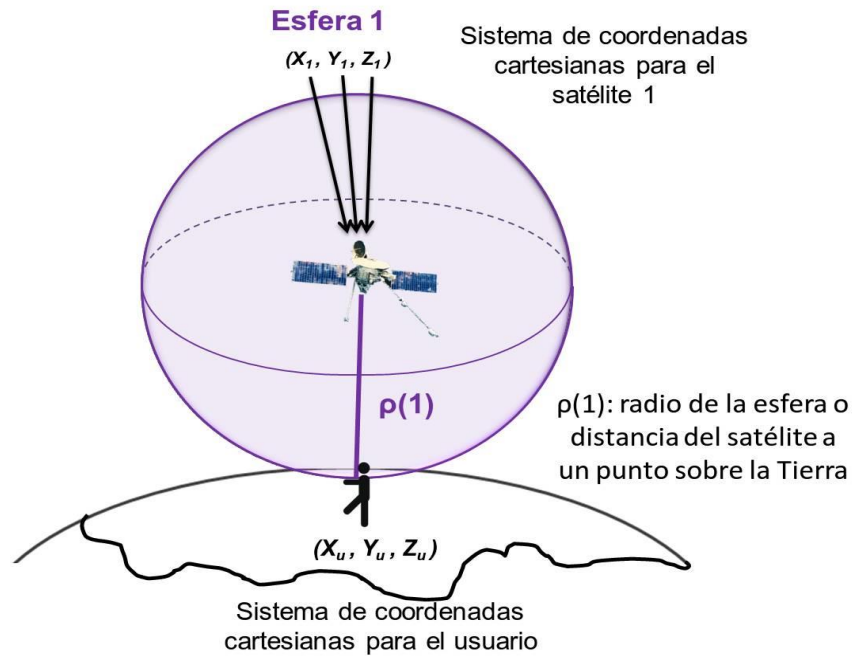


Figura 1.11. Radio de la esfera o distancia del satélite al receptor GPS.

Si se considera otro satélite, éste también representa una esfera y se calcula mediante la ecuación (1.7), es decir, midiendo la distancia entre este nuevo satélite y el punto de referencia en la Tierra. Con esto se obtienen dos esferas que se interceptan formando una circunferencia, como se muestra en la figura 1.12, cabe señalar que cuando se está determinando la distancia del satélite y la posición del usuario es necesario aplicar las dos ecuaciones (1.7), ya que es una ecuación por satélite.

$$\begin{aligned} \rho(1) &= \sqrt{[(X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \text{ ecuación para el satélite 1} \\ \rho(2) &= \sqrt{[(X_2 - X_u)^2 + (Y_2 - Y_u)^2 + (Z_2 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \text{ ecuación para el satélite 2} \end{aligned} \quad (1.7)$$

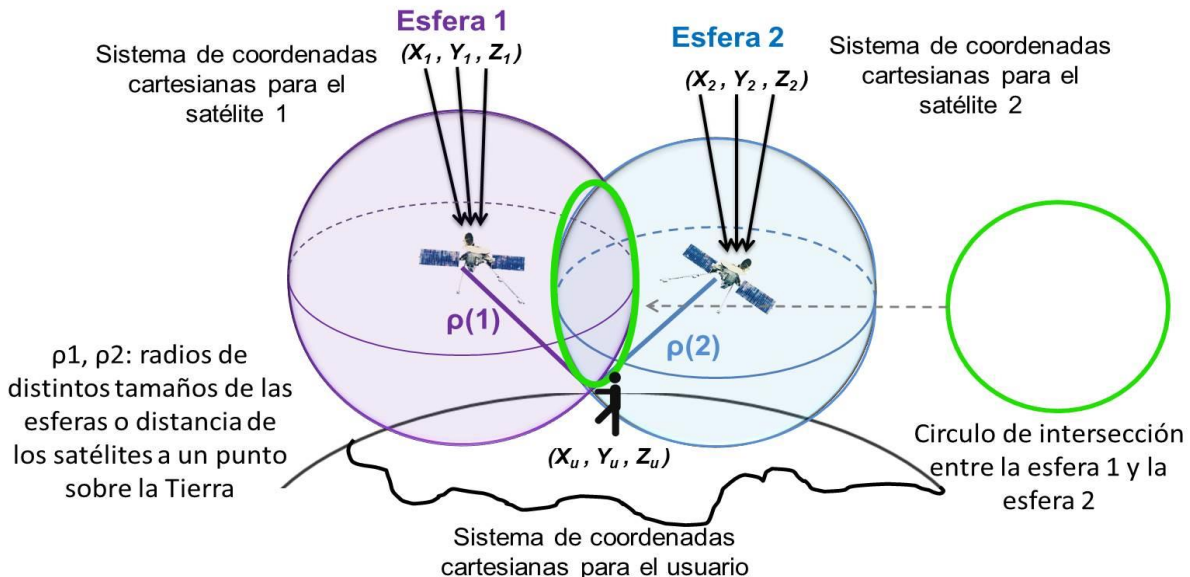


Figura 1.12. Radios de las esferas o distancia de dos satélites con respecto al receptor GPS.

Al incorporar un tercer satélite se produce una tercera esfera, donde la región al interceptarse las tres esferas se generan dos puntos de los cuales solo uno es el de nuestro interés ya que se encuentra sobre la superficie terrestre, como se muestra en la figura 1.13. Al considerar un tercer satélite se tienen que resolver tres ecuaciones (1.8), ya que cada ecuación corresponde a cada uno de los satélites.

$$\begin{aligned}\rho(1) &= \sqrt{[(X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \text{ ecuación para el satélite 1} \\ \rho(2) &= \sqrt{[(X_2 - X_u)^2 + (Y_2 - Y_u)^2 + (Z_2 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \text{ ecuación para el satélite 2} \\ \rho(3) &= \sqrt{[(X_3 - X_u)^2 + (Y_3 - Y_u)^2 + (Z_3 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \text{ ecuación para el satélite 3}\end{aligned} \quad (1.8)$$

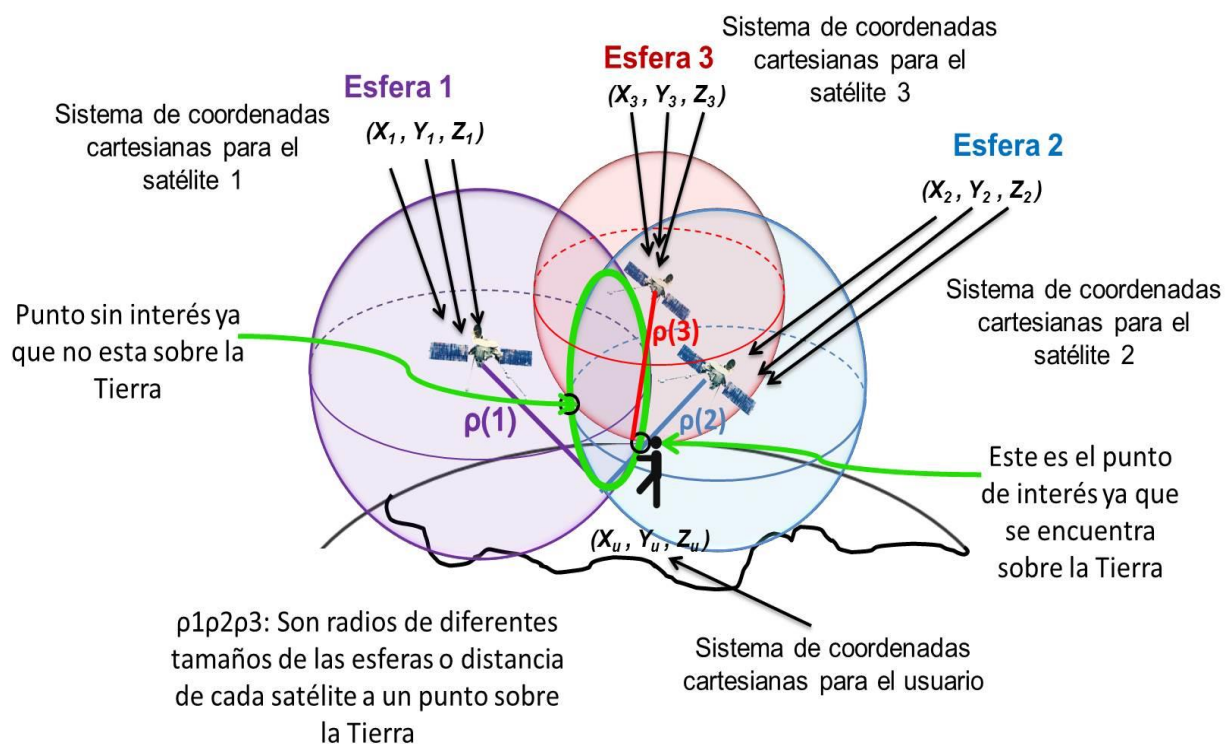


Figura 1.13. Determinación de la posición con tres esferas con respecto al receptor GPS.

La posición podría determinarse solamente con estos tres satélites debido a que ya se tiene un punto de referencia ubicado sobre la superficie de la Tierra. Sin embargo, se requiere de un cuarto satélite para tener una posición exacta del usuario o en este caso del receptor GPS. Este cuarto satélite se usa debido al error de sincronización entre los relojes del receptor y de los satélites existentes; además se utiliza para determinar la altura del receptor con respecto al nivel del mar. Por lo tanto al incorporar un cuarto satélite el sistema de ecuaciones para determinar la posición del receptor en la Tierra y la distancia de cada satélite queda establecido en las ecuaciones (1.9).

$$\begin{aligned}
 \rho(1) &= \sqrt{[(X_1 - X_u)^2 + (Y_1 - Y_u)^2 + (Z_1 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \text{ ecuación para el satélite 1} \\
 \rho(2) &= \sqrt{[(X_2 - X_u)^2 + (Y_2 - Y_u)^2 + (Z_2 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \text{ ecuación para el satélite 2} \\
 \rho(3) &= \sqrt{[(X_3 - X_u)^2 + (Y_3 - Y_u)^2 + (Z_3 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \text{ ecuación para el satélite 3} \\
 \rho(4) &= \sqrt{[(X_4 - X_u)^2 + (Y_4 - Y_u)^2 + (Z_4 - Z_u)^2]} + C(t_r - t_s) \text{ ecuación para el satélite 4}
 \end{aligned} \tag{1.9}$$

### 1.6. Estructura de una señal GPS.

Los satélites de la constelación NAVSTAR emiten una señal de radio frecuencia compuesta por dos frecuencias portadoras, dos códigos digitales y un mensaje de navegación. Las frecuencias de las portadoras son de 1,575.42MHz, conocida como portadora L1, y de 1,277.60MHz, llamada portadora L2 [17]. La disponibilidad de ambas portadoras permite corregir un error dentro del sistema GPS conocido como retardo ionosférico.

Para que coexistan varias señales de satélite en una misma frecuencia y en un mismo lugar, y para proteger la integridad de los datos transmitidos, es necesaria la aplicación de un código. Cada satélite difunde 2 códigos de pseudoruido PN (*Pseudo-Random Noise*). Las secuencias de pseudoruido son señales periódicas determinísticas conocidas por el receptor y el transmisor; presentan propiedades estadísticas similares a las del muestreo de ruido blanco, y una correlación muy baja para distinguir señales provenientes de usuarios que utilizan el mismo ancho de banda [18].

El código C/A (*Coarse/Acquisition Code*) también conocido como código estándar, tiene una frecuencia de 1.023MHz, con una secuencia de longitud de 1023 bits y se repite cada milisegundo, con el cual se modulan los datos del sistema GPS y es utilizado para la navegación de uso civil. El código P (*Presition Code*) o de precisión es un código con una frecuencia de 10.23MHz, tiene una secuencia de longitud de  $6.1871 \times 10^{12}$  bits y se repite cada 7 días entre la noche del sábado y la mañana del domingo [13]. Esta señal es de uso exclusivo militar y proporciona el servicio de posicionamiento PPS (*Precise Positioning Service*), es una señal encriptada y se le conoce como código P (Y). El código P transmite las frecuencias portadoras L1 y L2, mientras que el código C/A solo transmite L1. En la ecuación (1.10) podemos observar cómo se obtiene L1 y L2.

$$\begin{aligned}
 L1 &= 10.23 \text{ MHz} \times 154 = 1575.42 \text{ MHz} \\
 L2 &= 10.23 \text{ MHz} \times 120 = 1227.60 \text{ MHz}
 \end{aligned} \tag{1.10}$$

Existen 154 ciclos de portadora del código chip P(Y) en L1 y 120 ciclos de la portadora del código chip P(Y) en L2.

Como ya mencionamos las portadoras L1 y L2 son moduladas por desplazamiento de fase binaria, cuando L1 es modulada en fase sufre un desfase de  $90^\circ$  lo cual provoca que las

señales sean perpendiculares entre sí (figura 1.14), esto permite que ambas señales puedan ser enviadas por los satélites y así evitar que se traslape una señal con la otra.

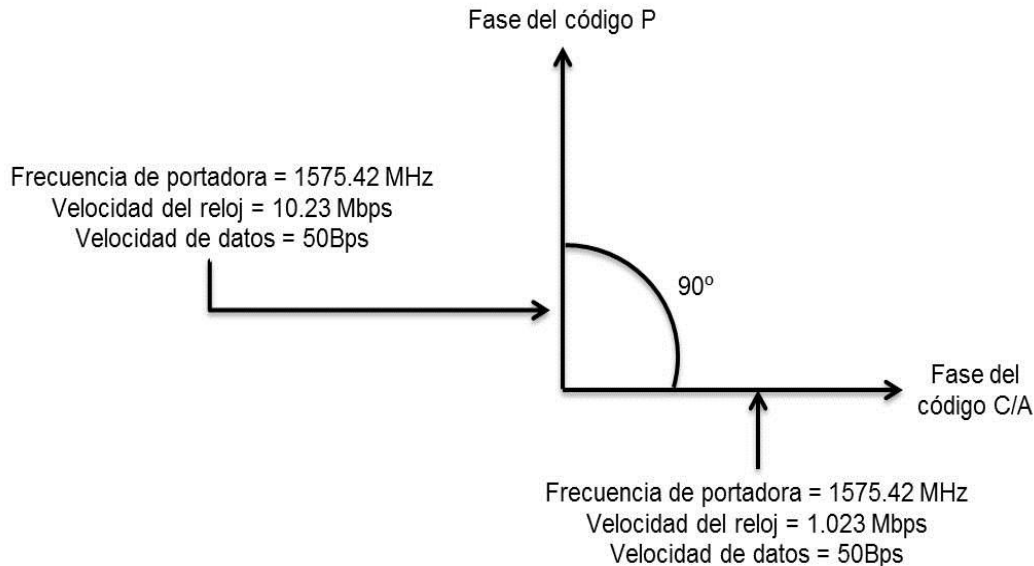


Figura 1.14. Estructura de una señal GPS.

La modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK) [19], es un esquema de señalización digital en el cual una portadora de radiofrecuencia es transmitida con un cambio de fase de  $180^\circ$  sobre intervalos de tiempo en donde el estado cambia de uno a cero y viceversa. En la figura 1.15 se muestra un ejemplo de la modulación BPSK, donde una señal portadora y una señal de datos son modulados y dan como resultado una señal BPSK.

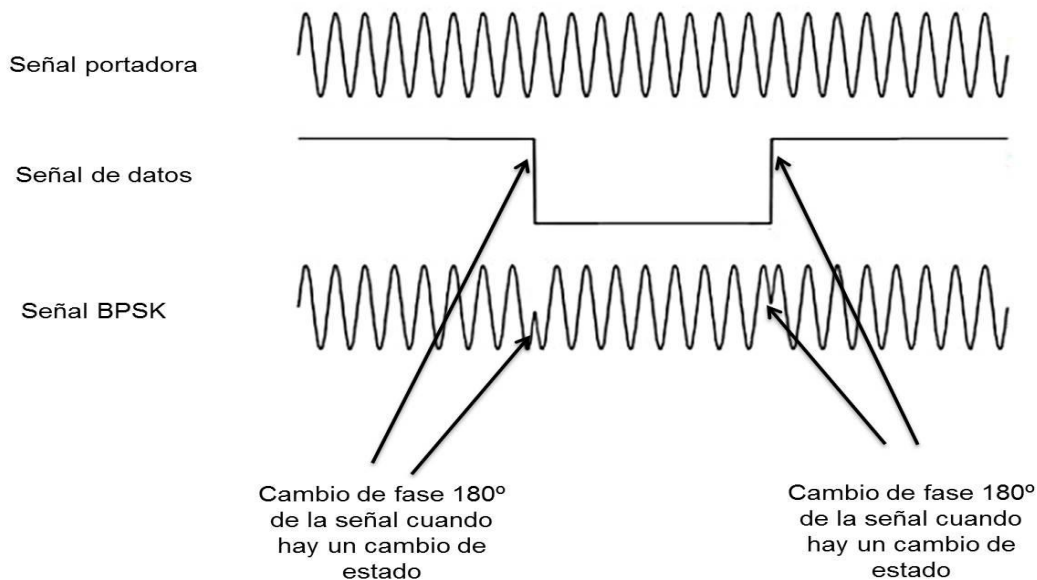


Figura 1.15. Modulación BPSK.

Dentro de la señal que emiten los satélites viene incluido un mensaje de navegación, dicho mensaje contiene la información necesaria para que el receptor pueda realizar los cálculos para determinar su posición, este tipo de mensajes cuentan con la siguiente información:

- ✘ Estado actual y órbita del satélite.
- ✘ Información de cuatro satélites adicionales para actualizar o corregir errores en los relojes.
- ✘ Las efemérides de los satélites.
- ✘ La corrección de errores por retardos atmosféricos.
- ✘ Mensajes de uso civil y de uso militar.
- ✘ Almanaque de cada uno de los satélites.

El almanaque es parte del mensaje de navegación, contiene información de las órbitas de los satélites y parámetros de corrección del satélite.

Este mensaje de navegación se transmite a una velocidad de 50bps y es enviado tanto en el código C/A como en el código P, tiene una duración de 12 minutos y 30 segundos, el mensaje de navegación es de 1500 bits y se encuentra dividida en 5 subtramas de 300 bits cada una, que a su vez se dividen en 10 palabras de 30 bits de longitud. La primera palabra está dedicada a la telemetría (TLM), la segunda (HOW, *Hand Over Word*) indica la información para conmutar entre el código C/A y el P, las ocho palabras restantes son generadas por las estaciones en Tierra. La figura 1.16 muestra la estructura del mensaje de navegación.

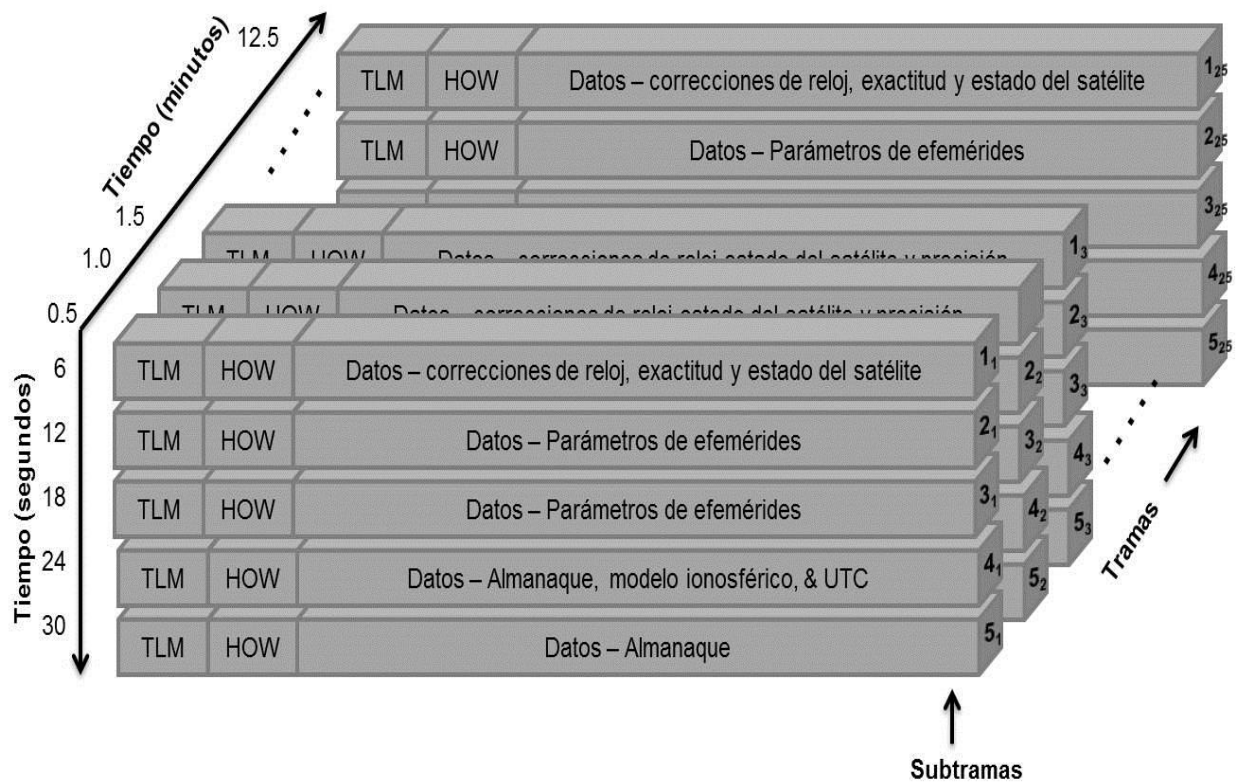


Figura 1.16. Mensaje de navegación.

A continuación se da una explicación más detallada de lo que hace cada trama, cada subtrama y cada palabra del mensaje.

La subtrama 1, almacena los parámetros para la corrección del reloj.

- ✘ Cada subtrama comienza con palabra telemetría y la palabra HOW; la telemetría se encarga de medir con exactitud la distancia del satélite, se transmite cada 6 segundos y le permite al receptor la identificación del inicio de una trama, esto con el fin de medir el instante de llegada del mensaje. La palabra HOW permite identificar la hora en que ha sido emitido el último bit de la subtrama, contiene 17 bits que se encargan de la hora de la semana TOW (Time of Week), la hora viene dada en segundos respecto al inicio de la semana, e indica la cantidad de subtramas que han sido enviadas desde el comienzo de la semana.
- ✘ En esta subtrama hay un campo de cuatro bits que sirve para definir la exactitud la distancia del satélite con el usuario URA (User Range Accuracy), dicho valor no toma en cuenta los retardos provocados por la capa ionosférica.
- ✘ Un campo de 6 bits, indica el estado del funcionamiento del satélite, esto quiere decir que establece un valor para saber si se puede utilizar o no, cuando el campo tiene valor de cero indica que el funcionamiento del satélite es normal.
- ✘ El campo de 10 bits IODC (*Issue Of Data Clock*), permite conocer si se han modificado uno o más parámetros de corrección, permitiendo así actualizar la información del satélite en cuestión.

Las subtramas 2 y 3, contienen información de las efemérides del satélite y se repiten cada 30 segundos desde el segmento de Tierra.

- ✘ Definen la órbita actual del satélite con respecto de la hora GPS, con estos datos el receptor consigue calcular de forma exacta la posición del satélite.
- ✘ Además contiene un campo de 8 bits IODE (*Issue Of Data Ephemerides*), que le permite al receptor comprobar si se han hecho cambios en los datos de las efemérides.

En la subtrama 4, sus 300 bits quedan reservados para mensajes alfanuméricos de futuras aplicaciones, se le conoce como bloque de mensaje, además contiene datos de almanaque.

Las subtramas 4 y 5 son enviadas cada 25 segundos. Las 25 versiones de las subtramas se les denomina páginas, cada página contiene datos diferentes que se encuentran distribuidos del bit 91 al 300.

En la subtrama 4, las páginas 2 a la 5 y 7 a la 10 contiene datos de los almanaques de todos los satélites, cada página esta designada para una función en específico, el identificador de página del satélite define su formato y su contenido. La página 17 contiene mensajes especiales, la página 18 contiene datos ionosféricos y el Tiempo Universal Coordinado, UTC (*Coordinated Time Universal*). Las páginas 1, 6, 11, 12, 16, y 19 a la 24 son páginas reservadas. Las páginas 13, 14 y 15 son para repuestos.

La subtrama 5 contiene el almanaque de un satélite, así como su estado, por lo que en las 24 sucesivas tramas se podrán obtener los almanaques de los 24 satélites.

Las páginas 1 a la 24 contienen datos de los almanaques de 1 a 24 satélites. La página 25 contiene el estado de cada satélite, el tiempo de referencia de almanaque y el número de referencia de la semana del almanaque.

El receptor GPS debe de contar con la información del estado de los satélites y su posición, esto con el fin de predecir la órbita de la constelación de satélites para realizar los cálculos del posicionamiento. Esta información requerida se le conoce como efemérides y almanaque, el receptor GPS obtiene esta información de los propios satélites.

Las efemérides contienen la información que emiten los satélites y que indican la posición de donde se encuentran; el receptor utiliza los datos de efemérides de distintos satélites al mismo tiempo para hacer los cálculos y correcciones que le permitan determinar su posición en la Tierra. Cada satélite emite sus propias efemérides, esta información se encuentra en un cambio constante y es actualizada por las estaciones de control. Los valores de las posiciones de cada satélite van cambiando y en consecuencia se van actualizando, esto debido al movimiento que ocurre por la atracción del sol y por la diferencia de altitud que existe en las diferentes partes de la corteza terrestre.

Las efemérides contienen un modelo orbital Kepleriano y distintos parámetros del reloj, por ejemplo: desplazamiento UTC, tiempo de la semana, velocidad y aceleración del desplazamiento del reloj del satélite.

Las subtramas 2 y 3 de la trama del mensaje de navegación, ver figura 1.15, contienen la información de las efemérides. Cada subtrama es emitida cada 30 segundos y se encargan de determinar la órbita en la que se encuentra el satélite con respecto al receptor GPS, así el receptor es capaz de calcular su posición mediante las efemérides. En la tabla 1.2 podemos observar cómo se definen los datos de las efemérides del GPS [13].

$t_{0e}$	Tiempo de referencia de las efemérides
$\sqrt{a}$	Raíz cuadrada del semieje mayor
$e$	Excentricidad
$i_0$	Ángulo de inclinación
$\Omega_0$	Longitud del nodo ascendente
$\omega$	Argumento del perigeo (el perigeo es la distancia mínima entre el foco de la elipse y el satélite)
$M_0$	Anomalía media
$di/dt$	Velocidad del cambio del ángulo de inclinación
$\Omega$	Velocidad del cambio de la longitud del nodo ascendente
$\Delta_n$	Corrección del movimiento medio
$C_{uc}$	Corrección de la amplitud del argumento del coseno de la latitud
$C_{us}$	Corrección de la amplitud del argumento del seno de la latitud
$C_{rc}$	Corrección de la amplitud del coseno del radio de la órbita
$C_{rs}$	Corrección de la amplitud del seno del radio de la órbita
$C_{ic}$	Corrección de la amplitud del coseno del ángulo de inclinación
$C_{is}$	Corrección de la amplitud del seno del ángulo de inclinación

Tabla 1.2. Definición de los datos de las efemérides.

Aparte de las efemérides, el mensaje de navegación también contiene información de las orbitas satelitales (coordenadas), y los parámetros de corrección del satélite, conocidas como almanaque, en comparación con las efemérides el almanaque tiene menor precisión, los parámetros del almanaque se actualizan cada 6 días. Con la ayuda de los datos del almanaque un receptor GPS puede adquirir rápidamente las señales del satélite. El almanaque es utilizado para predecir la visibilidad, las órbitas y las posiciones de los satélites. En la tabla 1.3 se muestra un ejemplo de un registro de un mensaje de almanaque [20].

Parámetros	Valor
ID del PRN	09
Estado del satélite	000 (si no se utiliza 000)
Excentricidad ( $e$ )	0.1739120483E-001
Generación del tiempo de almanaque $t_a$ (semana en segundos)	589,824.0000
Inclinación orbital $i$ (rad)	0.9582130834
Velocidad ascendente directa (rad/sec)	-0.7680319916E-008
Ruta cuadrada del semieje mayor ( $\sqrt{a}$ )	5,153.612305
Parámetro ascendente directo del periodo de semana (rad)	0.6326674561E+000
Argumento del perigeo (rad)	1.204548677
Anomalía media (rad)	-0.6287860653E-001
Sesgo del reloj del satélite $A_f(0)$ (sec)	0.1440048218E-003
Desviación del reloj del satélite $A_f(1)$ en segundos por segundos	0.5093170330E-010
Semana GPS	325

Tabla 1.3. Registro de un mensaje de almanaque.

Para concluir el tema de la estructura de una señal GPS, vamos a explicar la figura 1.17, en donde podemos observar una señal de datos de 50 bits y una señal del código C/A de 1023 bits, a estas dos señales se les aplica el método de or-exclusiva para que sean moduladas, posteriormente la señal resultante se multiplica con una señal portadora L1, al resultado de esas señales se les aplica el esquema de modulación de fase binaria; por último esa señal es la que transmiten los satélites a los receptores que se encuentran sobre la superficie terrestre.

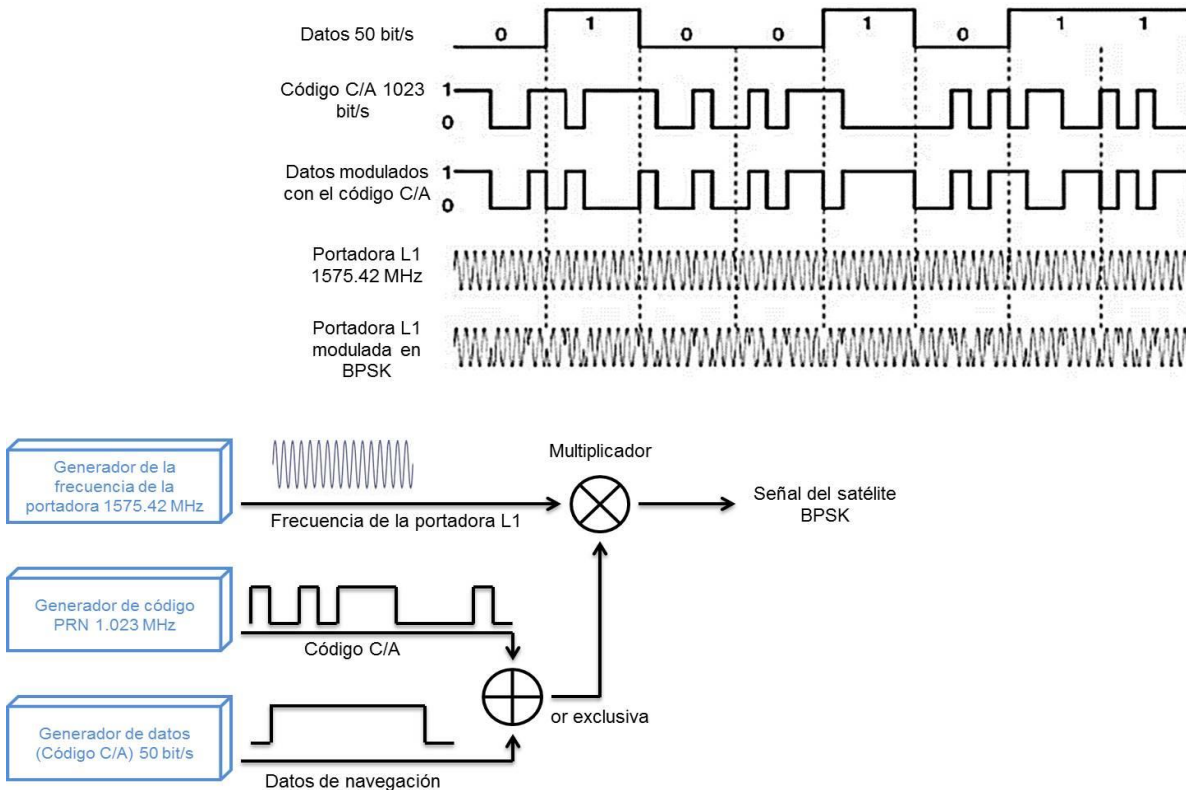


Figura 1.17. Estructura, composición y generación de datos de navegación GPS.

### 1.7. Precisión horizontal, vertical y errores que afectan a la precisión.

La precisión<sup>1</sup> es afectada por distintas causas tales como: errores de los receptores GPS en los cálculos horizontales y verticales debido al contorno de la superficie de la Tierra, errores debido a la disminución de la precisión por la geometría de los satélites, errores debido a los relojes del satélite, la disponibilidad selectiva, errores en las capas atmosféricas, errores por múltiples trayectorias y por el reloj del receptor GPS.

El sistema GPS fue diseñado para brindar una posición horizontal con una incertidumbre menor a los 100 metros, para el 95% de los casos, y mayor a 100 metros, para el 4.99% de los casos. Estos son valores teóricos. Por medio de mediciones se ha demostrado que el error de la

<sup>1</sup> Precisión: es la cualidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas.

precisión horizontal para el 95% de los casos es menor a los 83 metros. La precisión que ofrece el receptor GPS de norte a sur y de este a oeste no es la misma debido a las diferentes altitudes que hay a lo largo de la Tierra [5].

La precisión vertical contiene un error teórico de  $\pm 156$  metros para el 95% de los casos, y menor a  $\pm 500$  metros en el 99.99% de los casos. Existen diferentes causas por las cuales la precisión vertical tiene un error más grande que la precisión horizontal, se considera que cuanto más elevado se encuentre el satélite utilizado para hacer las mediciones mejor será la precisión vertical, pero no es el caso ya que las probabilidades de que un satélite se encuentre por encima de los  $45^\circ$  con respecto del horizonte son muy bajas, en ocasiones solo se llega a tener un par de satélites por encima de ese ángulo. Otro caso en particular se presenta porque no es posible que un satélite se encuentre por debajo del propio receptor GPS, lo que complica la situación y hace que el error en la precisión vertical sea más grande. Estos valores son teóricos y se puede ver afectada por la forma en la que el receptor GPS selecciona los satélites [5].

Existe la disminución de la precisión debida las mediciones de la geometría de los satélites que se relaciona con el espacio y la posición de los satélites en la atmosfera, a esta disminución de precisión se le conoce como DOP (*Dilution Of Precision*) [21]. La principal forma de disminución del sistema GPS es debida a la geometría GDOP (*Geometric Dilution Of Precision*), la cual son mediciones en la exactitud<sup>2</sup> de posición y tiempo en tres dimensiones. Para conocer la exactitud de su posición, se tiene que multiplicar el error de los satélites por un factor que depende de la geometría de los satélites seleccionados por el receptor y se expresa en la ecuación (1.11).

$$\sigma_a = \sigma_r(GDOP) \quad (1.11)$$

Donde

$\sigma_a$ : es la exactitud de la posición final.

$\sigma_r$ : es el error de la distancia actual.

$$GDOP = \frac{(\sigma_E^2 + \sigma_N^2 + \sigma_U^2 + (c \times \delta_T)^2)^{1/2}}{\sigma_r} \quad (1.12)$$

Donde

$\sigma_E$  : valor de la desviación estándar en el este, [m].

$\sigma_N$  : valor de la desviación estándar en el norte, [m].

$\sigma_U$  : dirección hacia arriba de la desviación estándar, [m].

$c$  : velocidad de la luz = 299,792,458 [m/s].

<sup>2</sup> Exactitud: Es la cualidad del instrumento de medida por la que tiende a dar medias próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

$\delta_T$  : desviación estándar en el tiempo, [s].

$\sigma_R$  : valor de la desviación estándar de la distancia total, [m].

La disminución de la precisión de la posición PDOP (*Position Dilution Precision*) permite definir la exactitud de la precisión en tres dimensiones y se obtiene con la ecuación (1.13).

$$PDOP = \frac{(\sigma_E^2 + \sigma_N^2 + \sigma_U^2)^{1/2}}{\sigma_R} \quad (1.13)$$

La mayoría de los receptores GPS realizan los cálculos de precisión horizontal mediante la indicación URA (User Range Accuracy) y con la ayuda del factor HDOP (*Horizontal Dilution Of Precision*); es la exactitud en dos dimensiones y permite definir la precisión de la latitud y la longitud, y se define con la ecuación (1.14).

$$HDOP = \frac{(\sigma_E^2 + \sigma_N^2)^{1/2}}{\sigma_R} \quad (1.14)$$

La disminución vertical VDOP (*Vertical Dilution Of Precision*) es una medida de la exactitud en la desviación estándar vertical, que permite obtener la precisión de la altura, y se obtiene mediante la ecuación (15).

$$VDOP = \frac{\sigma_U}{\sigma_R} \quad (15)$$

Los errores producidos por los relojes atómicos, aunque estos relojes son altamente estables, son ocasionados cuando se tienen desviaciones del orden de milisegundos en el momento que emite el sistema GPS la señal. Un desplazamiento de 1 milisegundo es equivalente a un error de 300Km. Los errores producidos por el reloj son del orden de 3 metros. La estación de control principal determina y transmite los parámetros de corrección del reloj a los satélites que a su vez se retransmiten dentro de los mensajes de navegación.

También existen estimaciones de errores en las efemérides para todos los satélites, estas son calculadas y enviadas en un enlace de subida hacia los satélites con otros parámetros en los datos del mensaje de navegación para que se retransmitan a los receptores GPS; por ejemplo correcciones de reloj de satélite, se hacen estimaciones de las correcciones y además contienen un error residual, este error residual es un vector y la magnitud está representada como un error de pseudodistancia efectiva por proyección. En la figura 1.18 observamos que  $\alpha$  es el vector unitario de línea de vista entre el satélite y el receptor.

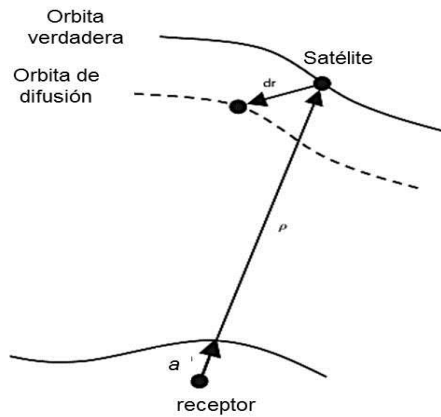


Figura 1.18. Error de efemérides.

Un error en la precisión es la disponibilidad selectiva (*Selective Availability*), este error es ocasionado e inducido por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, lo logran al introducir ruido en los relojes de los satélites para reducir la precisión de la posición, este error varía para cada satélite y es producido por una secuencia pseudoaleatoria. Esto con la finalidad de que los usuarios de los receptores GPS no pudieran utilizar la radionavegación en contra del DOD o de algún otro usuario. Aunque la disponibilidad selectiva fue eliminada por el DOD en mes de mayo del año 2000.

Otro error es debido a las capas atmosféricas [8], por ejemplo la capa de la ionosfera que se encuentra a una altura entre 70 y 1000Km alrededor de la superficie terrestre, dentro de esta región los rayos ultravioleta provenientes del sol ionizan una porción de las moléculas de gas liberando electrones libres, esta influencia de los electrones libres electromagnetizan las ondas de propagación, incluyendo la transmisión de las señales de los satélites, esto lo podemos observar en la figura 1.19.

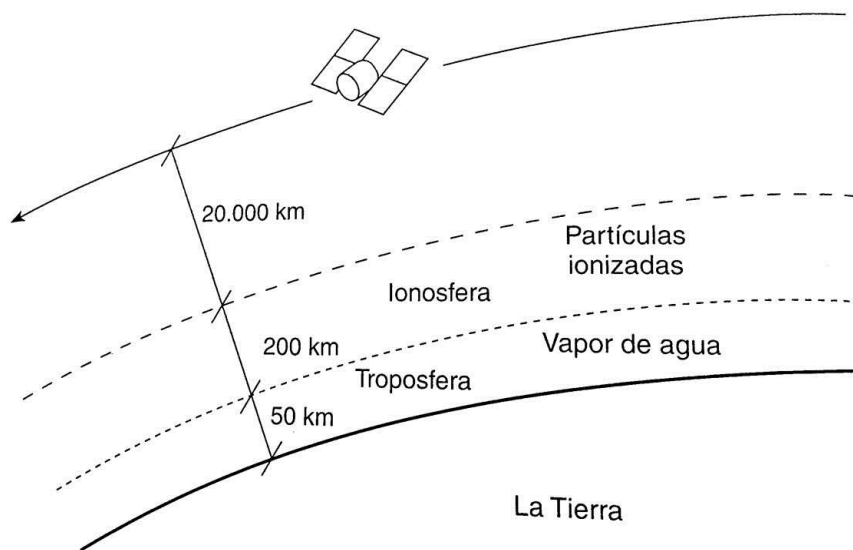


Figura 1.19. Capas atmosféricas.

Otro ejemplo de error en la atmosfera se encuentra en la Troposfera que es la parte más baja de la atmosfera que no es dispersiva para frecuencias mayores a los 15GHz, la fase y el grupo de velocidades asociados con la portadora GPS y las señales de información L1 y L2 son al mismo tiempo retardadas con respecto a la propagación en el espacio libre. Este retardo está en función del índice refractivo troposférico que depende de su temperatura, presión y humedad relativa, dando un retardo de la señal que provoca un desfase en la posición del satélite. Estos errores pueden corregirse debido a la relación que existe entre la pseudodistancia medida y la distancia real, con la siguiente ecuación:

$$R = R_m - \frac{A}{f^2} \quad (16)$$

donde:

R = Distancia real.

$R_m$  = Pseudodistancia medida.

A = Parámetro dependiendo de las condiciones atmosféricas.

f: es la frecuencia de la señal que envía el satélite.

Existen otros errores de precisión debidos a que la señal recibida es reflejada por los objetos cercanos al receptor GPS lo que provoca interferencia en la señal recibida debido a las trayectorias múltiples [13]. Con las trayectorias múltiples, la señal llega al receptor a través de diferentes rutas debido a reflexiones de la Tierra y de objetos cercanos como edificios, árboles, vehículos, etcétera, estas reflexiones se muestran en la figura 1.20. Las trayectorias múltiples no solo distorsionan el código PRN y el mensaje de navegación que es modulado dentro de la portadora, también afecta la misma fase de la portadora. Bajo las peores condiciones, las trayectorias múltiples pueden causar que el receptor pierda de vista el seguimiento de la trayectoria. Para mayor información sobre trayectorias múltiples se puede consultar en [22].

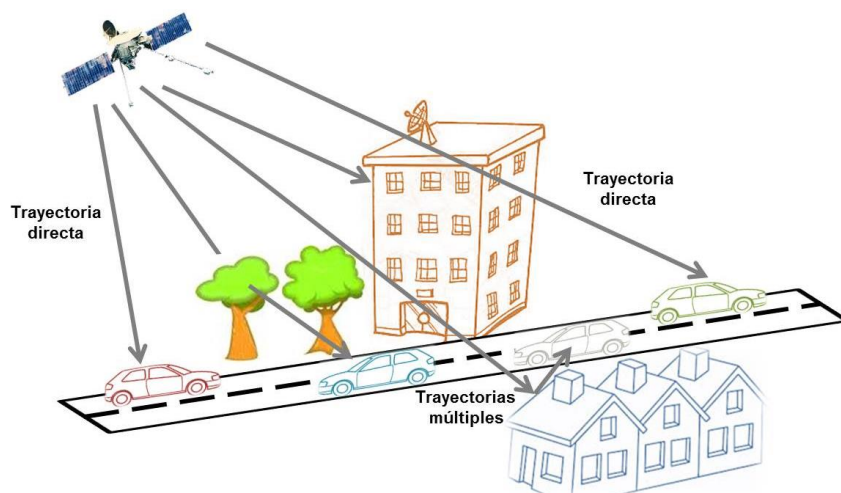


Figura 1.20. Trayectorias múltiples debido a los objetos cercanos del receptor.

### 1.8. Protocolo de comunicación NMEA 0183.

La Asociación Nacional de Electrónica para la Marina (*National Marine Electronics Association*, NMEA) [23], es una asociación sin fines de lucro integrada por fabricantes, distribuidores, mayoristas, instituciones educativas, organizaciones gubernamentales y privadas y operadores de equipos; además se establece como una asociación para el desarrollo de estándares de comunicación de datos para dispositivos marinos. El estándar NMEA 0183, está destinado a servir al interés público, al facilitar la interconexión y el intercambio del equipo y define una interfaz eléctrica y un protocolo de datos para las comunicaciones entre los dispositivos marinos.

A continuación se muestran ejemplos de dispositivos que utilizan el protocolo NMEA:

- ✘ Sistemas GPS.
- ✘ Brújulas digitales.
- ✘ Radares.
- ✘ Ecosondas, usadas en las profundidades de los océanos.
- ✘ Sensores de velocidad.
- ✘ Instrumentos meteorológicos.
- ✘ Relojes atómicos.
- ✘ Comunicaciones satelitales o de radio.

Todos los datos transmitidos por el sistema GPS se envían en forma de sentencias [24], cada sentencia comienza con el signo \$ y termina con el retorno de carro <CR> y el fin de línea <LF>. Al signo \$ se le conoce como delimitador de las sentencias y representa el inicio de una trama aprobada por el estándar NMEA 0183. Existen tres tipos de sentencias:

- ✘ *Talker sentences*.
- ✘ *Proprietary sentences*.
- ✘ *Query sentences*.

*Talker sentences*: El primer carácter es el signo \$, las siguientes dos letras se le conoce como identificador *talker* o transmisor, y los tres siguientes caracteres son el identificador de la sentencia, seguido de campos de números o datos separados por comas, un *checksum*, opcional, y finaliza con el retorno de carro y fin de línea. Un ejemplo de una sentencia *Talker* es:

\$HCHDM,238,M<CR><LF>

Como ya mencionamos comienza con un signo \$, HC es el tipo de identificador, en este caso significa compas magnético, el HDM especifica el siguiente mensaje de la cabecera magnética, el 238 significa el valor de cabecera y la letra M designa el valor de cabecera como magnético.

A continuación se muestran los diferentes tipos de identificadores *Talker*.

Identificadores Talker	
AG	<i>Autopilot – General</i>
AP	<i>Autopilot – Magnetic</i>
CD	<i>Communications – Digital Selective Calling (DSC)</i>
CR	<i>Communications – Receiver / Beacon Receiver</i>
CS	<i>Communications – Satellite</i>
CT	<i>Communications – Radio-Telephone (MH/FH)</i>
CV	<i>Communications – Radio-Telephone (VHF)</i>
CX	<i>Communications – Scanning Receiver</i>
DF	<i>Direct Finder</i>
EC	<i>Electronic Chart Display &amp; Information System (ECDIS)</i>
EP	<i>Emergency Position Indicating Beacon (EPIRB)</i>
ER	<i>Engine Room Monitoring Systems</i>
GP	<i>Global Positioning Systems (GPS)</i>
HC	<i>Heading – Magnetic Compass</i>
HE	<i>Heading – North Seeking Gyro</i>
HN	<i>Heading – Non North Seeking Gyro</i>
II	<i>Integrated Instrumentation</i>
IN	<i>Integrated Navigation</i>
LC	<i>Loran C</i>
P	<i>Proprietary Code</i>
RA	<i>RADAR and/or ARPA</i>
SD	<i>Sounder, Deep</i>
SN	<i>Electronic Positioning System, other/general</i>
SS	<i>Sounder, Scanning</i>
TI	<i>Tum Rate Indicator</i>
VD	<i>Velocity Sensor, Doppler, other/general</i>
DM	<i>Velocity Sensor, Speed log, Water, Magnetic</i>
VW	<i>Velocity Sensor, Speed log, Water, Mechanical</i>
WI	<i>Weather Instruments</i>
YX	<i>Transducer</i>
ZA	<i>Timekeeper – Atomic Clock</i>
ZC	<i>Timekeeper – Chronometer</i>
ZQ	<i>Timekeeper – Quartz</i>
ZV	<i>Timekeeper – Radio Update, WWW or WWVH</i>

Tabla 1.4. Identificadores *Talker*.

*Proprietary Sentences:* Este estándar permite a los fabricantes individuales un formato de sentencia propietario, la sentencia empieza con el signo "\$P" después siguen tres letras que identifican a los fabricantes, y a continuación incluyen cualquier dato deseado por el fabricante.

*Query sentences:* Se utilizada principalmente en receptores conocidos como *listener*, o para solicitar la sentencia de algún transmisor. A continuación se muestra un ejemplo de sentencia *Query*. El primer carácter es el signo \$, los dos caracteres siguientes son del identificador *Talker* del solicitante, los siguientes dos caracteres son del identificador del dispositivo buscado (*listener*), el quinto carácter siempre es una "Q" que define el mensaje como una consulta y los siguientes tres caracteres es un mnemónico de tres letras de la sentencia solicitada.

\$CCGPQ, GGA<CR><LF>

Comienza con el delimitador \$, después los dos caracteres siguientes "CC" es un dispositivo (computadora), las letras "GP" es un dispositivo GPS, y "GGA" es la sentencia solicitada, el dispositivo GPS transmitirá esta sentencia cada segundo a los dispositivos que la soliciten.

El estándar NMEA 0183 ha aprobado 87 formatos de sentencia para la comunicación entre dispositivos, de los cuales ejemplificaremos 20 sentencias, incluidas las sentencias que aceptan los receptores GPS.

ALM	<i>GPS Almanac Data</i>
BOD	<i>Bearing &amp; Distance to Waypoint</i>
CUR	<i>Water Current Layer</i>
DCN	<i>Decca Position</i>
GGA	<i>Global Positioning System Fix Data</i>
GLC	<i>Geographic Position – Loran-C</i>
GLL	<i>Geographic Position – Latitude/Longitude</i>
GSA	<i>GNSS Pseudorange Error Statistics</i>
GSV	<i>GNSS Satellites in View</i>
HSC	<i>Heading Steering Command</i>
LCD	<i>Loran-C Signal Data</i>
MSS	<i>MSK Receiver Interface</i>
RMA	<i>Recommended Minimum Specific Loran-C Data</i>
RMC	<i>Recommended Minimum Specific GNSS Data</i>
STN	<i>Multiple Data ID</i>
TXT	<i>Text Transmission</i>
VTG	<i>Course Over Ground and Ground Speed</i>
WNC	<i>Distance – Waypoint to Waypoint</i>
XTE	<i>Cross – Track Error – Measured</i>
ZDA	<i>Time &amp; Date</i>

Tabla 1.5. Formato de sentencias aprobadas por el estándar.

La información que es enviada de los satélites a los receptores GPS, como la velocidad, el posicionamiento y la trayectoria, se calculan y se envían en sentencias para que sean utilizadas en diferentes aplicaciones. Dentro de estas sentencias se encuentra la GPRMC, este tipo de sentencia corresponde a la información mínima de navegación recomendada por el estándar, a continuación se muestra en la figura 1.21 la información detallada de esta sentencia [20].

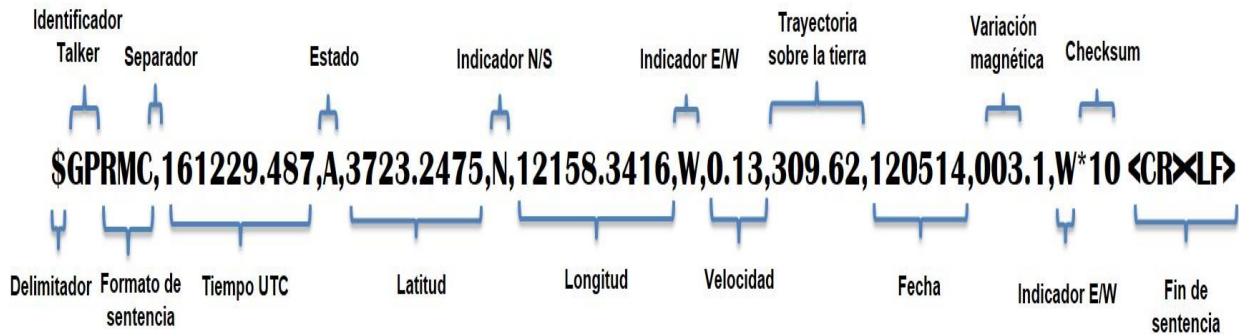


Figura 1.21. Sentencia \$GPRMC.

**\$.** Delimitador, indica el comienzo de una sentencia.

**GP.** Identificador *talker*, es un tipo de identificador donde GP significa *Global Positioning System* (GPS), establecido por el estándar.

**RMC.** Formato de sentencia y son las especificaciones mínimas recomendadas.

**.** Separador, sirve para separar los campos de información.

**161229.487.** Tiempo UTC, este tiempo proporciona la capacidad de sincronización para los usuarios y los sistemas de comunicaciones de todo el mundo, y el formato se establece como: hhmmss.sss, es decir hora, minutos, segundos y milésimas de segundo.

**A.** Estado, se refiere al estado del receptor en cuanto a datos disponibles y tiene tres estados diferentes; A= Datos válidos, V= Datos no válidos y D= Modo diferencial.

**3723.2475.** Latitud, viene dado en el formato de grados y minutos decimales (DDMM.mmmm).

**N.** Proporciona el lugar geográfico del receptor GPS e indica si está en la parte Norte o Sur del planeta: N o S.

**12158.3416.** Longitud, viene dado en el formato de grados y minutos decimales (DDMM.mmmm).

**W.** Proporciona el lugar geográfico del receptor GPS e indica si está en la parte Este u Oeste del planeta: E o W.

**0.13.** Es la velocidad del receptor GPS con respecto a la Tierra y su forma de medición son los nudos.

**309.62.** Trayectoria sobre la Tierra, en la aeronáutica es el vector de corrección de trayectoria debido al viento y se expresa en grados reales (*Degrees True*).

**120514.** Fecha, indica la fecha exacta en el formato ddmmyy, día, mes y año.

**003.1.** Variación magnética, es la variación o declinación en un punto de la Tierra, es el ángulo comprendido entre el Norte magnético local y el Norte verdadero.

**W.** Indicador, proporciona el lugar geográfico de la variación magnética e indica si está en la parte Este u Oeste del planeta: E o W.

**\*10.** *Checksum*, corresponde a la suma exclusiva lógica de todos los campos excepto las comas y sirve para verificar la existencia de un error en la sentencia generada por el receptor GPS.

**<CR><LF>**. Retorno de carro y fin de línea. Indican el final de una sentencia.

### **1.9. Aplicaciones y servicios del sistema GPS.**

El sistema GPS proporciona servicios para las aplicaciones de uso militar o civil, este servicio es gratuito y se encuentra a disposición de todos los usuarios de forma permanente y global. Este sistema proporciona un servicio de cronometría, dado que cada satélite contiene varios relojes atómicos que proporcionan datos horarios: fecha y hora para que los receptores GPS puedan sincronizar su reloj con los relojes atómicos al decodificar las señales que envían los satélites.

El uso gratuito de la cronometría que ofrece el sistema GPS ha impactado de manera importante en los sistemas de comunicación, redes de distribución eléctrica, redes financieras, entre otros, ya que dependen de la sincronización de la hora con los satélites para tener una mejor eficiencia. Ejemplo de esto lo vemos en las redes de teléfonos inalámbricos de las casas y en la transmisión de datos, que utilizan la cronometría para la sincronización de las estaciones y para compartir el espectro radioeléctrico para un mejor desempeño. Empresas a nivel mundial utilizan este servicio de sincronización para sellar en el momento exacto todas las transacciones, como dato los principales bancos utilizan la señal del GPS para sincronizar su red de servidores y computadoras en todo el mundo. En los Estados Unidos utilizan el servicio de sincronización para la información sobre condiciones atmosféricas obtenidas a través de sus radares meteorológicos. Laboratorios clínicos y hospitales a nivel mundial emplean la técnica de vista común, la cual se basa en la sincronización para comunicar la hora con alta precisión a

largas distancias, esto se logra al recibir la señal del GPS al mismo tiempo en dos lugares alejados y comparar sus escalas horarias y establecer una hora universal coordinada (UTC).

Los campos donde se puede aplicar este sistema de posicionamiento son amplios y diversos, por ejemplo la ayuda a la navegación marítima y aérea, el modelado del espacio atmosférico para predicciones del clima o para el análisis y exploraciones geológicas. A continuación se detallan algunos de los campos donde se aplica el sistema GPS.

- ✘ Fenómenos atmosféricos: esta aplicación tiene lugar cuando una señal del sistema GPS atraviesa la troposfera, siendo esta la causante de diversos fenómenos meteorológicos. Se estudia esta señal para utilizarla en el modelado de predicciones del clima.
- ✘ Navegación en lugares de difícil acceso: este método ya es utilizado como ayuda en las expediciones de investigaciones donde el acceso es poco tratable, por ejemplo están las zonas donde el clima es abrumador ya sea tanto en el desierto como en los polos donde la temperatura desciende demasiado.
- ✘ Uso en modelos geológicos y topográficos: este método se aplica en el estudio del movimiento que tienen las placas tectónicas, se hace uso de sistemas para el estudio en regiones volcánicas para determinar predicciones y temperaturas así como la posible activación de algún volcán. Este sistema se utiliza como herramientas para el levantamiento de terrenos e inventarios forestales y agrarios.
- ✘ Ingeniería civil: aquí es de gran ayuda contar con el uso de esta tecnología ya que se pueden monitorear en tiempo real las estructuras tanto metálicas como de cemento cuando éstas son sometidas a una gran presión debido a las toneladas que sostienen.
- ✘ Sistemas de alarma: en la actualidad ya se cuenta con sistemas de alarma que se encuentran conectados a sensores que tienen un sistema de localización para la supervisión del transporte de mercancías tanto contaminantes como perecederas o incluso de gran valor.
- ✘ Sincronización de señales: en algunos países de la industria eléctrica se utiliza este sistema para sincronizar los relojes de sus estaciones, esto con el fin de monitorear los posibles fallos en el servicio eléctrico.
- ✘ Para recorridos guiados: una de las aplicaciones de los últimos años es realizar un sistema que ayude a personas con problemas visuales para que puedan viajar por la ciudad. De otra forma esta idea está siendo aprovechada por la industria turística ya que ven un gran desarrollo del sector ofreciendo visitas guiadas por un sistema de localización para poder ofrecer recorridos con mayor precisión.

- ✘ Control de flotillas de vehículos: desde hace algún tiempo este sistema es empleado en la trayectoria para el control de flotillas de vehículos, algunos ejemplos de esta aplicación se ven reflejados en los vehículos policíacos, en las ambulancias, en algunas centrales de taxis, en los servicios de mensajerías, muchas empresas ya se sirven de este apoyo para planificar rutas y controlar los recorridos de ciertos vehículos, como por ejemplo para localizar sus ferrocarriles o algunos vagones en especial.
- ✘ Sistemas de aviación: en la actualidad el sistema de posicionamiento se emplea en la aviación civil tanto en vuelos comerciales como privados o de uso militar, se decidió adaptar y mejorar este servicio dado el hecho de que en 1983 los soviéticos derribaron un avión coreano por invadir sus espacio aéreo.
- ✘ Para la localización: hoy en día es común saber que existen personas que se han insertado un localizador GPS miniatura para que puedan ser localizados por cualquier eventualidad, además hay empresas que ofrecen este tipo de servicio para la localización de las mascotas, esto se logra al incorporar un sistema de localización o rastreo en sus collares, por si se llegaran a perder puedan ser localizados por sus dueños. Por último la tecnología se ha aplicado a los celulares ya que estos cuentan con este sistema y es de gran utilidad para la localización de personas.
- ✘ Una nueva aplicación se lleva a cabo en los estudios cinematográficos, están utilizando el sistema GPS en el rodaje de las películas lo que posibilita un control del audio y video de cada toma, así como la sincronización entre las múltiples tomas de ángulos diferentes.
- ✘ La implementación de cámaras fotográficas digitales con GPS es otra aplicación que se está llevando en estos días, ya que permite agregar los datos geográficos a las fotos, este método se llama geoetiquetado, para que posteriormente se incorpore en un mapa y finalmente sea compartido.
- ✘ Los vehículos no tripulados denominados drones tienen un gran potencial en áreas muy diversas como: seguridad y aplicaciones militares, medio ambiente, agricultura, geología, construcciones, entre otros, ya que puede desplazarse rápidamente sobre terrenos irregulares y superar cualquier obstáculo. En la actualidad también utilizan el sistema GPS para la geolocalización, en misiones de reconocimiento y para servicios de mensajería. Un ejemplo de ello es la compañía alemana de mensajería DHL que utiliza drones automatizados para la entrega de paquetes ya que se guía por medio de su GPS integrado.

**Referencias.**

- [1] Logsdon Tom, *Understanding the Navstar: GPS, GIS, IVHS*, Chapman & Hall, New York, 1995.
- [2] <http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>.
- [3] Hoffmann Bernhard y Lichtenegge Herbert, *GNSS Global Navigation Satellite Systems*, Springer-Verlag Wein, Austria, 2008.
- [4] Lawrence Letham, *GPS fácil, uso del sistema de posicionamiento global*, Paidotribo, España, 2001.
- [5] Correia Paul, *Guía práctica de GPS*, Marcambo, España, 2002.
- [6] Kolawole Michael O., *Satellite Communication Engineering*, Marcel Dekker, USA, 2002.
- [7] Kihara Masumi y Ono Sadagasu, *Digital Clocks for Synchronization and Communications*, Artech House Inc., USA, 2003.
- [8] <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.811/es>
- [9] <http://www.gps.gov/systems/gps/control/>
- [10] Martin Donald H., *Communications Satellite, The Aerospace Press*, USA, 2000.
- [11] Bao James y Tsui Yen, *Fundamentals of Global Positioning System Receivers*, John Wiley & Sons, USA, 2000.
- [12] Maass Sergio Franco y Valdez Pérez Ma. Eugenia, *Principios básicos de cartografía y cartografía automatizada*, impreso en UAEM, México, 2003.
- [13] Kaplan Elliott D, Hegarty Christopher J, *Understanding GPS Principles and Applications*, Artech house. Inc, 2006.
- [14] Rao G.S., *Global Navigation Satellite Systems*, Tata McGraw Hill, Nueva Delhi, 2010.
- [15] Van Sickle Jan, *Basic GIS Coordinates*, CRC Press, USA, 2004.
- [16] Wellenhof Hofmann y Legat Klaus, *Navigation Principles of Positioning and Guidance*, Springer-Verlag Wien, Austria, 2003.
- [17] Farrel Jay y Barth Matthew, *The Global Positioning System and Inertial Navigation*, McGraw Hill, USA, 1999.
- [18] Sklar Bernard, *Digital Communications Fundamental and Applications*, Prentice Hall, USA, 2001.
- [19] Hallman Willi, *Handbook of Space Technology*, John Wiley & Sons, UK, 2009.
- [20] El-Rabbany Ahmed, *Introduction to GPS The Global Position System*, Artech House, Inc. 2002.
- [21] Gopi Satheesh, *Global Positioning System: Principles and Applications*, Tata McGraw Hill, nueva Delhi, 2005.
- [22] T.S. Rappaport, *Wireless Communication, Principles and Practice*, Prentice Hall, 2002.

[23] <http://www.nmea.org/>.

[24] <http://fort21.ru/download/NMEAdescription.pdf>



# Capítulo 2

Redes WLAN, basadas en el estándar  
IEEE802.11(b/g)



## 2.1. Introducción.

Cuando se desea transmitir información de un dispositivo a otro existen dos formas de hacerlo, por un medio guiado o no guiado. El medio guiado consiste en transmitir la información por medio de un cable (eléctrico o fibra óptica), donde existe una terminal en un punto dado y se conecta de manera física a otro dispositivo. El medio no guiado consiste en transmitir la información por el espacio, su ventaja es la flexibilidad para conectar diferentes dispositivos a una red, tal es el caso del estándar IEEE 802.11 definido por el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) [1], para aplicaciones WLAN (*Wireless, LAN*) publicado en 1997 con una velocidad de 1 a 2Mbps establecido en el *release* de 1997 y aprobado en 1999 donde se especificaron tres tecnologías alternativas en la capa física. En el primero la transmisión se realizaba por medio de luz infrarroja con una velocidad de 1Mbps; la segunda tecnología es por medio de microondas que utiliza FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) con una velocidad de 1 a 2Mbps; y la tercera tecnología, también con microondas, es DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) con una velocidad de 1 a 2Mbps. Tanto DSSS como FHSS usan la banda de frecuencia de 2.4GHz ISM (*Industrial Scientific Medical*)<sup>3</sup> [2].

### 2.1.1. Versiones.

En los orígenes la comunicación de las redes inalámbricas se realizaban con los dispositivos que producía una empresa, esto obligaba a la empresa a cubrir toda la infraestructura de la red, es decir, no había compatibilidad entre dispositivos de diferentes compañías, esto debido a que no existía un organismo que regulara la conexión de los dispositivos. Para resolver esta deficiencia el IEEE empezó a tratar la normalización de las redes inalámbricas donde se creó un grupo de trabajo llamado 802, el cual tiene como función la estandarización de todos los dispositivos y tecnologías.

Como se mencionó, en 1997 surge el estándar para redes inalámbricas IEEE802.11 donde la comunicación se hacía por luz infrarroja, por DSSS y por FHSS, pero estos sistemas que se establecieron tenían una limitante, su velocidad de transmisión que era de 1 a 2Mbps, debido a esto se desarrollaron nuevas versiones que se describen a continuación [3].

- ✧ IEEE80211.a. Este estándar fue aprobado en el año de 1999 y opera en la banda de frecuencia de 5GHz con una velocidad de transmisión máxima de 54Mbps, con una técnica de modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e incluye un código de corrección de error.

---

<sup>3</sup> ISM, es un grupo de bandas que se reservan a nivel internacional para la investigación y desarrollo de aplicaciones de dispositivos inalámbricos en campos de la industria, ciencia y medicina.

- ✘ IEEE802.11b. Este estándar también fue aprobado en el año de 1999, trabaja en la banda de 2.4GHz con una velocidad de transmisión máxima de 11Mbps, y utiliza el método de acceso múltiple conocido como DSSS, los dispositivos del IEEE802.11b se ven afectados por interferencia debido a que otros dispositivos trabajan en la misma banda de frecuencia, como son dispositivos Bluetooth, teléfonos inalámbricos y hornos de microondas.
- ✘ IEEE802.11g. Este estándar surgió en el año 2001 y fue aprobado en junio de 2003, opera en la frecuencia de 2.4GHz y utiliza un esquema de modulación de OFDM, con una velocidad máxima de 54Mbps. Su hardware es completamente compatible con los de estándar IEEE802.11b y este estándar también es afectado por la interferencia debido a la frecuencia en que trabaja.
- ✘ IEEE802.11-2007. El grupo de trabajo TGma, creado por el comité de normas del IEEE802, fue autorizado en el año 2003 para realizar correcciones del estándar IEEE802.11 de la versión de 1999, llamado estándar REVma o 802.11ma; creando en un documento la unión de 8 correcciones (802.11a, b, d, e, g, h, i, j) del estándar base e incluye especificaciones en la capa física y en la MAC (*Medium Access Control*) de las redes inalámbricas. Fue aprobado el 8 de marzo del 2007, y el 802.11REVma fue renombrado como el estándar IEEE802.11-2007. [2]
- ✘ IEEE802.11n. fue aprobado en octubre de 2009, y corrige los estándares previos al agregar antenas MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*). Este estándar opera en las frecuencias de 2.4 y 5GHz con una velocidad máxima de 72.2Mbps en la frecuencia de 2.4GHz y de 150Mbps en la frecuencia de 5GHz, y emplea una modulación OFDM.
- ✘ IEEE802.11e. Este estándar trabaja en los aspectos relacionados con la Calidad de Servicio (*Quality of Services, QoS*)<sup>4</sup> a través de la capa MAC y hace mejoras en la seguridad, sin embargo en el año 2001 la estructura del algoritmo de encriptación WEP (*Wired Equivalent Privacy*), fue violado. Esta mejora se encuentra publicada en el estándar IEEE802.11-2007. Las mejoras en la seguridad fueron cambiadas al estándar IEEE802.11i.
- ✘ IEEE802.11h. Las comunicaciones por radar y por satélite pueden ocasionar interferencia en la banda de 5GHz con el estándar IEEE802.11a, debido a que se encuentran transmitiendo en la misma frecuencia. Este estándar incorpora las características de control de potencia (*Transmission Power Control, TPC*) y de selección

---

<sup>4</sup> La calidad de servicios se refiere a dar prioridad de transmisión a unos paquetes de datos que a otros dependiendo de las aplicaciones como son: voz, video o imágenes.

de frecuencia dinámica (*Dynamic Frequency Selection*, DFC), donde TPC cierra un punto de acceso para reducir su potencia y DFC habilita dispositivos que detectan otras señales para cambiar a otro canal de transmisión.

- ✧ IEEE802.11i. El sistema de seguridad que utilizaba el IEEE802.11 estaba basado en el sistema WEP, pero este sistema fue violado por medio de un ataque de fuerza bruta, debido a esto se presentó un nuevo grupo de características que incluyen el protocolo de integridad de claves temporales (*Temporal Key Integrity Protocol*, TKIP) a esto se le conoce como WPA (*WiFi Protected Access*). Sin embargo la inicialización y renovación de la llave tuvieron que ser cambiadas. Por lo tanto WPA2 (*WiFi Protected Access 2*) denota una mejora final en el estándar IEEE802.11i, que incluye un esquema de encriptación adicional diseñado desde cero y que trabaja con el estándar de cifrado avanzado AES (*Advanced Encryption Standard*) definido por Estados Unidos el NIST (*National Institute of Standards and Technology*), alcanzando así un mayor grado de seguridad.

A continuación se presenta la familia de estándares IEEE802.11 y una descripción resumida de cada uno, [4].

Estándar	Fecha de aprobación del proyecto	Fecha final de Liberación	Nombre del estándar	Especificaciones/ características
IEEE802.11-1997	21-03-1991	26-06-1997	Estándar IEEE para redes WLAN, especificaciones de la capa MAC y de la capa Física (PHY)	Estándar inicial, con una velocidad de 1 a 2Mbps, establecido en el <i>release</i> 1997
IEEE802.11 <sup>a</sup>	16-09-1997	16-09-1999	Mayor velocidad en la capa física en la banda de 5GHz	54Mbps, OFDM, PHY en 5GHz, ancho de banda del canal 20MHz, distancia aproximada en interiores 20m y en exteriores 100m
IEEE802.11b	09-12-1997	16-09-1999	Mayor velocidad en la capa física en la banda de 2.4GHz	11Mbps, DSSS, PHY en 2.4GHz, ancho de banda del canal 20MHz, distancia aproximada en interiores 38m y en exteriores 140m
IEEE802.11 – 2007	20-03-2003	08-03-2007	Parte 11: para redes WLAN, especificaciones de la capa MAC y de la capa Física (PHY)	802.11-2007 reemplaza al 802.11-1999, incorpora mejoras en los estándares a, b, d, e, g-j
IEEE802.11d	26-06-1999	1406-2001	Operación en los dominios reguladores adicionales	Permite a los dispositivos cumplir con los requerimientos regionales
IEEE802.11e	30-03-2000	22-09-2005	Mejoras en la capa MAC	Apoyo a la calidad de servicio, QoS
IEEE802.11f	30-03-2000	12-06-2003	Protocolo entre el punto de	Publicado como 802.11.1 y

			acceso a través de los sistemas de distribución para el funcionamiento y apoyo de IEEE802.11	retirado administrativamente por el consejo de estándar IEEE-SA en 03-02-2006
IEEE802.11g	21-09-2000	12-06-2003	Mayor velocidad de datos en la banda de 2.4GHz	54Mbps, OFDM, PHY en 2.4GHz, ancho de banda del canal 20MHz, distancia aproximada en interiores 38m y en exteriores 140m
IEEE802.11h	07-12-2000	11-09-2003	Extensiones en la administración del espectro y la potencia de transmisión en la banda de 5GHz, en Europa	En Europa los dispositivos deben implementar el estándar 802.11h en la banda de 5GHz
IEEE802.11i	30-05-2001	24-06-2004	Mejoras en la seguridad en la capa MAC	Mejoras en la seguridad de la capa MAC, conocidas como WPA y WPA2 de <i>Wi-Fi Alliance</i>
IEEE802.11j	11-12-2002	23-09-2004	Operación en las bandas 4.9 y 5GHz en Japón	El cumplimiento de los japoneses para la regulación del espectro en la banda de 5GHz
IEEE802.11ma	20-03-2003	08-03-2007	Revisión y mantenimiento del estándar 802.11	Prepara el estándar 802.11-2007 para reemplazar al estándar 802.11-1999
IEEE802.11t	12-08-2004	31-12-2009	Recomendación de prácticas para la evaluación del desempeño de las redes inalámbricas 802.11	Grupo de trabajo dirigido a desarrollar el 802.11.2, y retirado administrativamente en 03-02-2006 por IEEE-SA
IEEE802.11c	09-12-1997	16-09-1998	Puentes para la capa MAC, complementos para el apoyo del IEEE802.11	Parte del puente del estándar IEEE802.1D-2004
IEEE802.11n	11-09-2003	11-09-2009	Mejoras para un mayor rendimiento	72.2Mbps en la banda de 2.4GHz con un ancho de canal de 20MHz, 150 Mbps en la de 5GHz y ancho de canal de 40MHz, OFDM y MIMO
IEEE802.11r	13-05-2004	30-09-2009	<i>Roaming</i> rápido	<i>Hand-off</i> rápido para los dispositivos en movimiento
IEEE802.11w	03-03-2005	30-09-2009	Administración para la protección de tramas	Administración para la seguridad de tramas
IEEE802.11y	16-03-2006	30-06-2008	Operación en las bandas de frecuencia 3650-3700 MHz en Estados Unidos	Protocolos de la FCC basados en la conexión en la banda 3.65GHz en los Estados Unidos

Tabla 2.1. Estándares de la red 802.11.

## 2.2. Topologías propuestas en IEEE802.11.

El estándar IEEE802.11 maneja dos tipos de topologías<sup>5</sup>: el IBSS (*Independent Basic Service Set*) o red AD-HOC y el BSS (*Basic Service Set*) con un punto de acceso para la conexión de modo infraestructura [5]. A continuación se describe estas topologías.

La topología IBSS/AD-HOC, consiste en una arquitectura que trabaja con al menos dos estaciones, donde cada estación opera con el mismo protocolo, la responsabilidad de la coordinación para el acceso al medio es distribuida entre las estaciones. Esta red se basa en la comunicación directa entre los diferentes dispositivos sin que exista un punto de acceso que forme parte de la misma red, como se puede observar en la figura 2.1. Existe una desventaja en este tipo de redes, que es el área de cobertura, ya que son estaciones que tienen que estar cerca pero una ventaja es que se puede ofrecer un servicio de calidad en la transmisión de la información ya que el tráfico de paquetes se lleva a cabo directamente entre los mismos dispositivos.



Figura 2.1. Topología IBSS o Ad-Hoc.

Por otra parte la topología BSS/Infraestructura, resuelve la problemática de la cobertura utilizando un punto de acceso, su función es que los diferentes dispositivos que se encuentren en la red puedan comunicarse entre sí a través de él, además de coordinar a las estaciones también se encarga de coordinar el tráfico entre los diferentes componentes de la red. Este tipo de red es apropiada para conectar una red WLAN en el hogar a través de un DCE (*Data Circuit-Terminating Equipment*), y también se utiliza para conectar redes inalámbricas con una red LAN, como se observa en la figura 2.2.

<sup>5</sup> Topología. Es la forma en que se conectan los diferentes dispositivos de la red para realizar una comunicación.

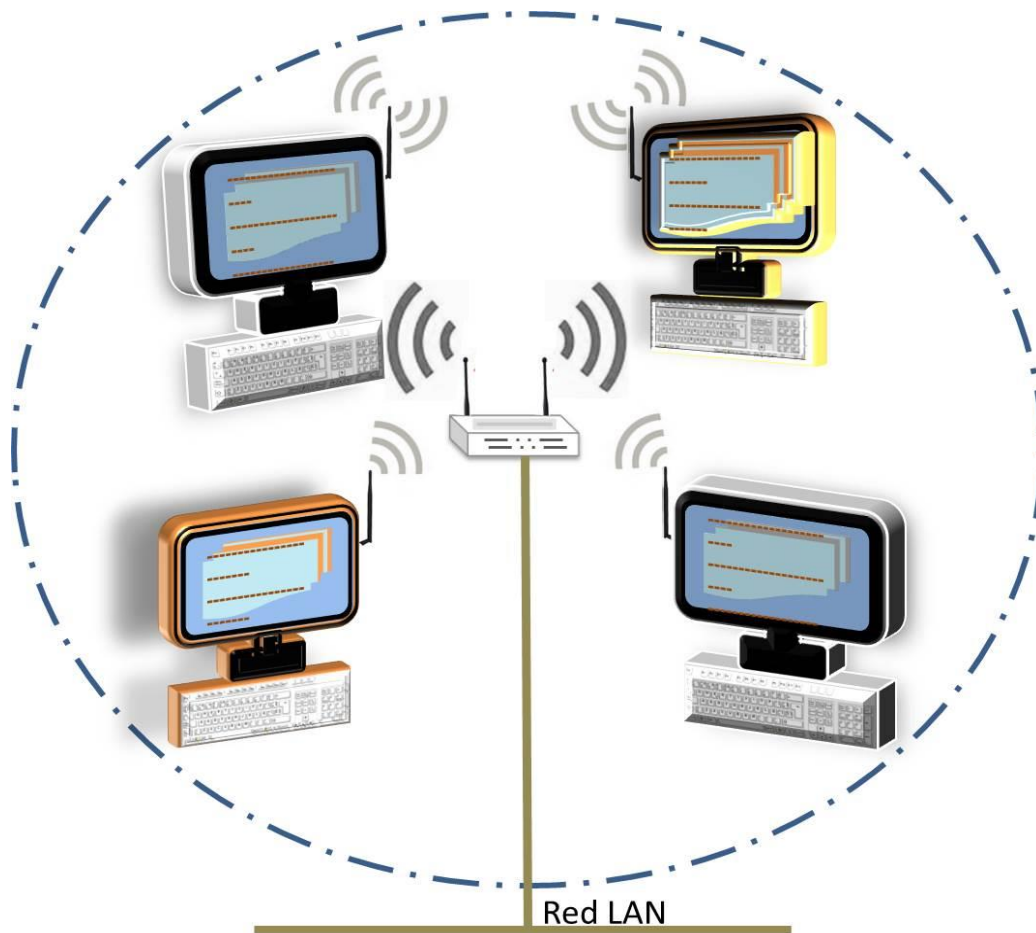


Figura 2.2. Topologías BSSS o infraestructura.

### 2.3. Capa física.

El modelo de referencia del estándar IEEE802.11 se basa en las primeras dos capas del modelo OSI [6], la capa PHY o física y la capa MAC o de control de acceso al medio. La capa física es la que se encarga de transmitir los bits de información cuando se accede al medio y se encuentra dividida en dos subcapas, PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure*) y la PMD (*Physical Medium Dependement*) como se muestra en la figura 2.3. Al principio de este capítulo mencionamos que se desarrollaron tres tecnologías en la capa física y se encuentran estandarizadas en el 802.11 publicado en 1997: FHSS, DSSS y luz infrarroja. Después se desarrollaron tres tecnologías basadas en radiofrecuencia: 802.11a, basada en OFDM, y el estándar IEEE802.11b/g utilizando los esquemas de modulación DSSS y OFDM [7].



Figura 2.3. Subcapas de la capa física.

PLCP. En la figura 2.4 se muestra el formato de la trama PLCP que se compone de un PPDU (*PLCP Protocol Data Unit*), el cual contiene un preámbulo PLCP, una cabecera PLCP y un MPDU (*MAC Protocol Data Units*). El MPDU consiste de la información que se intercambia entre las capas MAC y PHY, cuando la capa MAC necesita enviar información genera un MPDU, este MPDU es convertido en PPDU por la capa física y es transmitido por el medio de transmisión, el PPDU del receptor recibe la información por la capa PHY y es convertido en MPDU y lo transfiere a la capa MAC figura 2.5 [8].

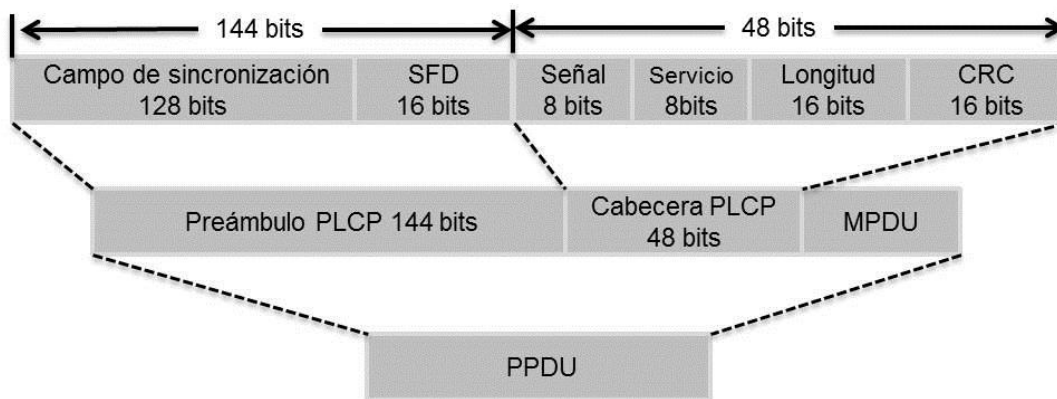


Figura 2.4. Formato de la trama PLCP.



Figura 2.5. Intercambio de información entre la capa MAC y PHY.

El preámbulo PLCP consiste de un campo de sincronización y un SFD (*Start Frame Delimiter*), el campo de sincronización consiste en 128 bits, este campo es proporcionado para facilitar la sincronización del receptor. Los 16 bits que ocupa el campo SFD son usados para indicar el comienzo del campo cabecera PLCP. Los 48 bits, del campo cabecera PLCP, consiste en 4 subcampos, un campo de señal de 8 bits, un campo de servicio de 8 bits, un campo de longitud de 16 bits, y un campo CRC (*Cyclic Redundancy Check*). El campo señal indica el tipo de modulación y la velocidad, el campo servicio está reservado para uso futuro, el campo de longitud indica el número de microsegundos necesarios para transmitir el MPDU, y el campo CRC es usado para detección de errores. La subcapa PMD es responsable de enviar y recibir los datos vía un canal inalámbrico y define el esquema de transmisión.

Como se mencionó el estándar IEEE802.11b/g maneja dos esquemas de modulación DSSS y OFDM, a continuación explicamos estos esquemas.

Las especificaciones para el uso de DSSS en la banda de 2.4GHz ISM están descritas en la FCC15.247 (*Federal Communications Commission 15.247*). El sistema DSSS tiene una velocidad de 1 a 2Mbps, para proporcionar la velocidad requerida el sistema DSSS usa esquemas de modulación como DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*) o DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*). Este sistema consiste en modular la señal que se está transmitiendo con una secuencia de bits de alta velocidad, denominados *chips*, y conocida como secuencia de Berkey, código de dispersión o ruido pseudoaleatorio (PN). La secuencia recomendada de Berkey es de 11 *chips*, [9]. La técnica DSSS maneja una subcapa PLCP y una PMD que transportan los datos de forma inalámbrica entre dispositivos.

Por otro lado el esquema de modulación OFDM es utilizado en los sistemas de comunicaciones inalámbricos: 802.11a, 802.11g y el 802.11n. El 802.11a es un complemento de 802.11 donde especifica la transmisión de la capa PHY en la banda de 5GHz. Este sistema consiste en fraccionar un canal de frecuencia en un número de subcanales ortogonales, los cuales serán usados en paralelo para aumentar la velocidad de transferencia. OFDM presenta problemas de interferencia entre portadoras, para solucionar esto se le agrega tiempos de guarda ( $t_g$ ). El estándar IEEE 802.11a utiliza un tiempo de guarda de 800ns.

El estándar 802.11a/g cuenta con 52 sub-portadoras ocupando 20MHz teniendo una duración de  $4\mu s$ , que son moduladas usando los tipos de modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) o 16-QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) [9]. Este esquema divide el ancho de banda en subcanales más pequeños que operan en paralelo, para alcanzar velocidades de transmisión de 54Mbps. De las 52 subportadoras que tiene el estándar, 48 son utilizadas para transmitir datos y las otras cuatro son para alinear las frecuencias en el receptor (subportadoras piloto), figura 2.6.

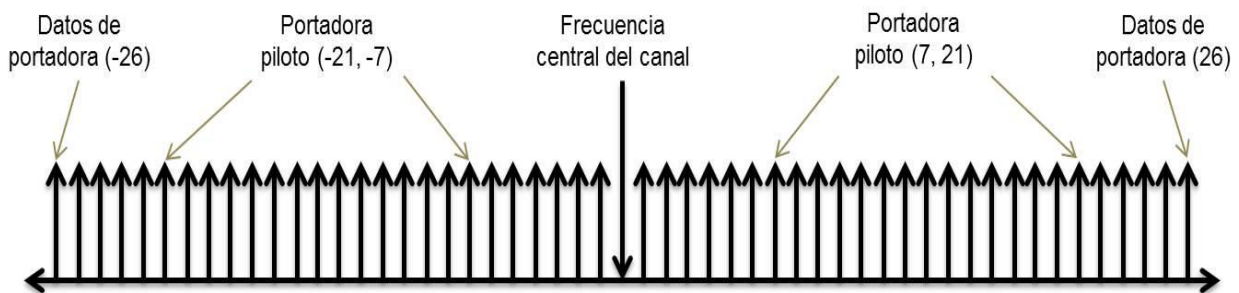


Figura 2.6. Esquema de modulación OFDM.

OFDM puede transmitir datos a distintas velocidades que pueden ser de 6 hasta 54Mbps utilizando distintas técnicas de modulación en cada una de ellas, como se muestra en la tabla 2.2.

Velocidad	Técnicas de modulación	Bits por señal	Número de subportadoras de datos	Número de subportadoras piloto
6 Mbps	BPSK	1	48	4
9 Mbps	BPSK	1	48	4
12 Mbps	QPSK	2	48	4
18 Mbps	QPSK	2	48	4
24 Mbps	QAM-16 (BPSK)	4	48	4
36 Mbps	QAM-16 (BPSK)	4	48	4
48 Mbps	QAM-64 (QPSK)	6	48	4
54 Mbps	QAM-64 (QPSK)	6	48	4

Tabla 2.2. Técnicas de modulación utilizadas por el estándar IEEE802.11 a/g.

El estándar IEEE 802.11 opera en las bandas de frecuencia de 2.4GHz y 5GHz, establecido en el CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) provisto por la ITU, donde se identifican las bandas de frecuencia del espectro para determinados servicios. Estas frecuencias se encuentran en las bandas de uso libre, la Ley Federal de Telecomunicaciones (LFT) establece en el artículo décimo *“espectro de uso libre: son aquellas bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas por el público en general sin necesidad de concesión, permiso o registro”* [10].

La banda de frecuencia de 2.4GHz puede ser utilizada en redes de área local inalámbricas, su velocidad de transmisión es de 11 y 54Mbps y su potencia radiada máxima será inferior a 100mW (*Equivalent Isotropically Radiated Power, EIRP*). Esta banda de frecuencia es utilizada en el estándar IEEE 802.11b/g.

La frecuencia de 2.4GHz es una banda de uso libre, esta frecuencia depende de la regularización de cada país. El IEEE regula los canales de transmisión y sus características técnicas. En Estados Unidos como en España la banda ISM de 2.4GHz funciona en términos de canales entre 2.4 y 2.4835GHz, sin embargo se establecen diferentes números de canales para la implementación americana y la europea teniendo 11 y 13 canales respectivamente [11], como se muestra en la tabla 2.3.

Cada canal ocupa 22MHz de ancho de banda para la transmisión, dos canales adyacentes, únicamente separados por 5MHz, como se puede observar en la figura 2.7. Aunque las redes 802.11 que operan en la banda ISM tienen 11 canales definidos, que se encuentran muy cercanos, las señales deben ser espaciadas para evitar interferencias. El 802.11b especifica que si espaciamos los canales a 25MHz es suficiente para evitar interferencias, es decir, cada 5 canales. La figura 2.7 muestra el espectro de transmisiones donde se puede notar que los

canales 1,6 y 11 no se traslapan y cumplen con el espacio de 25MHz, estos canales son los más usados para múltiples aplicaciones en países donde se ocupa la norma Americana, en caso de la norma Europea los canales 1,7 y 13 pueden ser la mejor elección.

Frecuencia MHz	Canal	Americana	Europea
2412	1	Si	Si
2417	2	Si	Si
2422	3	Si	Si
2427	4	Si	Si
2432	5	Si	Si
2437	6	Si	Si
2442	7	Si	Si
2447	8	Si	Si
2452	9	Si	Si
2457	10	Si	Si
2462	11	Si	Si
2467	12	No	Si
2472	13	No	Si
2484	14	No	No

Tabla 2.3. Canales de frecuencia, americana y europea.

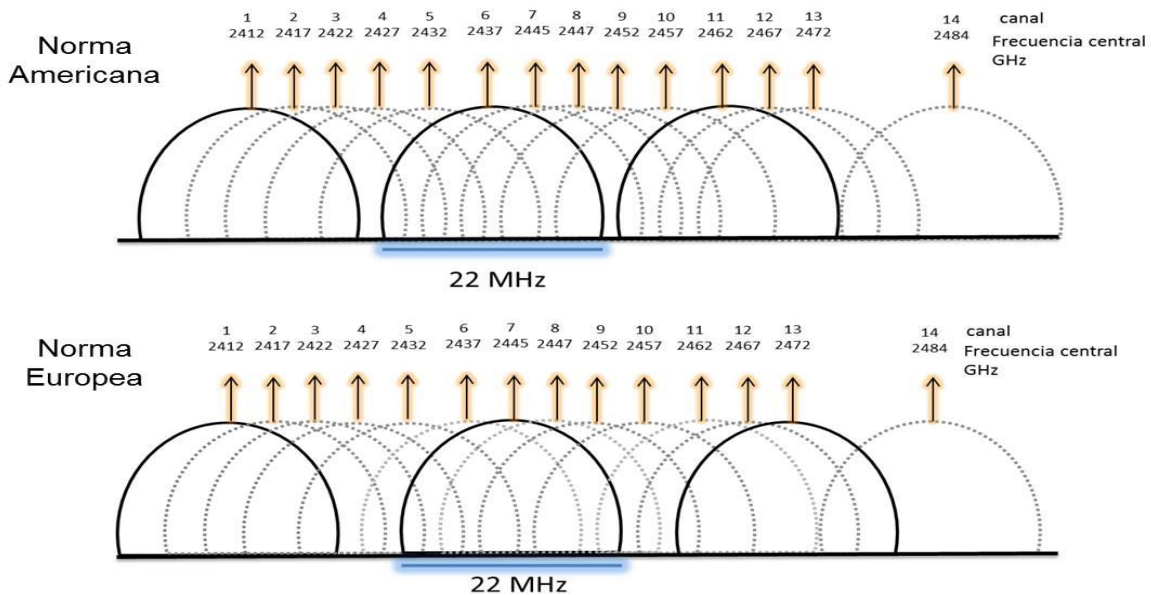


Figura 2.7. Espectro de los canales de frecuencia en la banda 2.4GHz.

La frecuencia central de cada canal es determinada por:

$$\text{Frecuencia Central (MHz)} = 2,407 + 5(N_{ch}) \quad (2.1)$$

Donde  $N_{ch}$  representa el ID o número de canal dentro de 1-13.

El conjunto de números de canal operando por el dominio regulatorio en la banda de los 5GHz, se muestra en la tabla 2.4 [11].

Dominio regulatorio	Banda (GHz)	Número de canal operando	Frecuencia central del canal (MHz)
Estado Unidos	Banda inferior (5.15-5.25)	36	5180
		40	5200
		44	5220
		48	5240
Estado Unidos	Banda media (5.25-5.35)	52	5260
		56	5280
		60	5300
		64	5320
Estado Unidos	Banda superior (5.725-5.825)	149	5745
		153	5765
		157	5785
		161	5805

Tabla 2.4. Número de canales operando.

El espectro de frecuencia se observa en la figura 2.8, en la cual se muestra la transmisión de 8 canales en 200MHz con un espacio entre canal adyacente de 20MHz a) y una transmisión de 4 canales en 100MHz con un espacio entre canal de 20MHz b) [11].

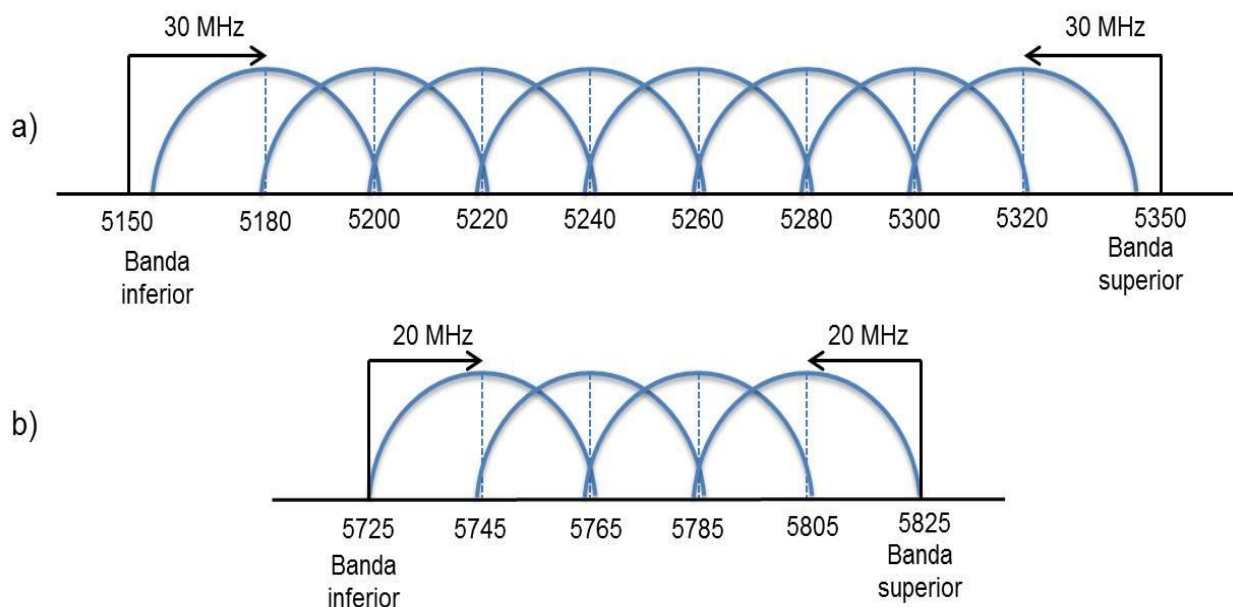


Figura 2.8. Espectro de los canales de frecuencia en la banda 5GHz.

La frecuencia central de cada canal es determinada por:

$$\text{Frecuencia Central (MHz)} = 5000 + 5(N_{\text{ch}}) \quad (2.2)$$

donde  $N_{\text{ch}}$  representa el ID o número de canal de la tabla 2.4.

## 2.4. Capa MAC.

La capa MAC, se encarga de los procedimientos para que los diferentes dispositivos compartan el uso del medio para la transmisión. El protocolo IEEE802.11 MAC se construye con dos funciones de coordinación DCF (*Distribution Coordination Function*) que es para tráfico sin QoS y servicios asíncronos, y PCF (*Point Coordination Function*) que es para tráfico con QoS y con servicios síncronos [5]. La primera se encarga de los paquetes que necesitan un tratamiento especial para poder llegar a su destino sin que exista un retardo en la información, para esto se ocupa el PC (*Point Coordination*) que emite una señal con el periodo de tiempo que necesita disponer del medio, todas las terminales que reciben la señal no pueden mandar información durante ese periodo de tiempo. También DCF emplea un mecanismo en prioridades llamado IFS (*Inter Frame Spacing*) para el control de acceso al medio [12]. La segunda se encarga de que las diferentes terminales puedan compartir el medio por el que se va a enviar la información y trabaja como un esquema *listen-before-talk* que se basa en el Acceso Múltiple por Detección de Portadora (*Carrier Sense Multiple Access*, CSMA).

La técnica CSMA que se ocupa para las redes inalámbricas es muy similar a las redes cableadas basadas en el IEEE 802.3, la diferencia que existe es que en estas redes se ocupa CD (*Collision Detection*) Detección de Colisión. Aquí las terminales de la red puede tanto transmitir como recibir al mismo tiempo detectando colisiones en el medio, mientras que en las redes inalámbricas se ocupa CA (*Collision Avoidance*), Anulación de Colisión. En este caso las terminales de una red no pueden transmitir ni recibir al mismo tiempo, por lo tanto, se necesita una técnica que evite las colisiones.

### 2.4.1. CSMA/CA.

A diferencia de las redes cableadas la DCF no detecta cuando una terminal está transmitiendo, por lo tanto, dos estaciones pueden establecer una comunicación simultánea sin percatarse de que exista una colisión.

Para contrarrestar este problema la DCF propone dos mecanismos uno físico y uno lógico. Al mecanismo físico se le conoce como CCA (*Clear Channel Assessment*), Valoración de la Disponibilidad del Canal, donde comprueba si el medio está en uso para transmitir, y si está en uso se espera un determinado tiempo antes de volver a hacer la comprobación.

En cambio el mecanismo lógico realiza la transmisión sobre el medio asignándoles tramas de control. Estas tramas son RTS (*Request to send*), solicitud para enviar, y CTS (*Clear to Send*) listo para enviar [13]. La comunicación se establece de la siguiente manera: la terminal que desea ocupar el medio manda una trama RTS al punto de acceso para indicarle que se quiere comunicar con otra terminal, con la información del tiempo que necesita ocupar el medio y el

destino a donde va enviar la información, el punto de acceso le contesta con CTS a todas la terminales de la red comunicándoles que una terminal está ocupando el medio, ésta incluye el tiempo que necesita la terminal para enviar la información, por lo tanto, las diferentes terminales no pueden ocupar el medio en ese periodo de tiempo, además la terminal envía una trama de reconocimiento ACK (*Acknowledgment*) al punto de acceso ya que si no lo hace éste último esperará un tiempo antes de considerar la transmisión errónea y volverá a hacer el envío, figura 2.9.

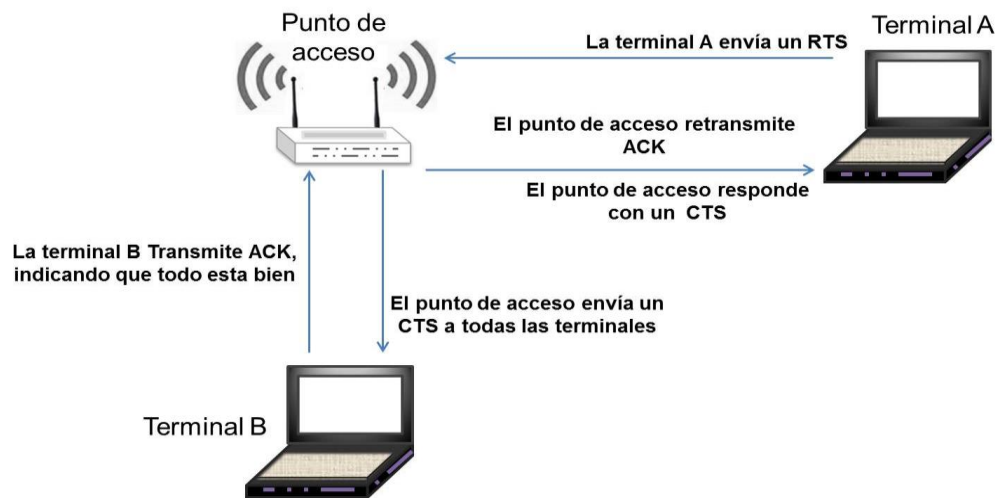


Figura 2.9. Comunicación entre dos terminales enviando tramas RTS, CTS y ACK.

El formato de la trama RTS, CTS y ACK, se puede observar en la figura 2.10, en donde observamos que la cabecera RTS se representa por cinco campos, la CTS y ACK se componen de cuatro campos cada una [13].

Trama RTS	Control de trama	Duración	Dirección de receptor	Dirección de transmisor	FCS
	2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	4 Bytes
Trama CTS	Control de trama	Duración	Dirección de receptor	FCS	
	2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	4 Bytes	
Trama ACK	Control de trama	Duración	Dirección de receptor	FCS	
	2 Bytes	2 Bytes	6 Bytes	4 Bytes	

Figura 2.10. Formatos de trama RTS, CTS y ACK.

A continuación explicamos cada uno de los campos.

- ✘ Control de la trama (RTS, CTS y ACK). Este campo se encarga de administrar el acceso al medio inalámbrico, y proporciona funciones de fiabilidad en la capa MAC.
- ✘ Duración (RTS, CTS y ACK). Indica cuanto tiempo ocuparan el canal la trama y su confirmación de recepción.
- ✘ Dirección del receptor (RTS, CTS y ACK). Dirección de la estación que va a recibir la trama RTC, CTS o ACK.
- ✘ Dirección del transmisor, RTC. La dirección de la estación que envía la trama RTC.
- ✘ FCS (*Frame Check Sequence*). 4 bytes, que son utilizados para verificar la integridad de la información recibida.

El campo de control de trama, está conformado por 11 subcampos [14], mostrados en la figura 2.11.

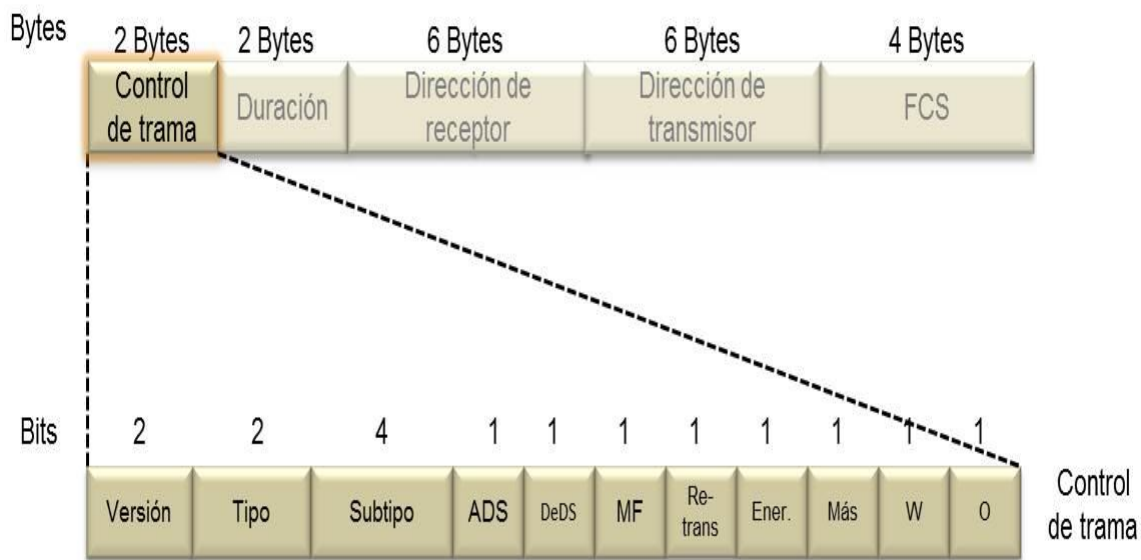


Figura 2.11. Subcampos del campo del control de trama.

- ✘ Versión. Indica la versión del protocolo, para permitir que dos versiones puedan trabajar al mismo tiempo.
- ✘ Tipo. establece el tipo de datos, de control o de administración.
- ✘ Subtipo. Este campo indica el subtipo de control de trama que se está transmitiendo por ejemplo, RTC o CTS.
- ✘ ADS y DeDS. Indica que las tramas se dirigen o vienen del sistema de distribución.

- ✘ MF. Indica la continuación de fragmentos, no existen fragmentos si el campo siempre es 0.
- ✘ Retrans. Marca una retransmisión de una trama que se envió anteriormente.
- ✘ Administración de energía. Este bit, es usado por la estación base para poner al receptor en estado de hibernación.
- ✘ Más. Indica que el emisor contiene tramas adicionales.
- ✘ W. especifica que la trama se ha codificado utilizando el algoritmo WEP.
- ✘ O. indica al receptor que las tramas que tengan este bit encendido debe procesarse en orden estricto.

## 2.5. Seguridad.

Con el avance de la tecnología, se ha incrementado el número de dispositivos que se pueden conectar a una red de forma inalámbrica, por lo tanto se ha incrementado la transmisión de información en la red. Esta es una de las principales razones por la cual se ha decidido buscar nuevos y mejores métodos para proteger la información de los dispositivos que se encuentran interconectados entre las redes WLAN.

Esto se logra teniendo un control apropiado del sistema o de las partes que conforman la red. También es importante utilizar o desarrollar mejores técnicas de codificación y cifrado para defenderse de los ataques. Los ataques pueden ser del tipo pasivo y activo. El primero es aquel donde el intruso obtiene información de los paquetes que son transmitidos por algún usuario, y no afectan los recursos del sistema. Los ataques activos llegan a realizar alguna alteración creando o eliminando flujos de paquetes, sus categorías son: suplantación, la modificación de un mensaje y/o la denegación de un servicio.

### 2.5.1. Autenticación y cifrado inalámbrico.

La autenticación de los usuarios evita que personas sin autorización puedan acceder a sistemas de información restringida. Para evitar esto se utiliza un nombre de usuario y contraseña para brindar acceso al sistema, al utilizar una contraseña es recomendable: cambiar la contraseña cada determinado tiempo, que la longitud de la contraseña sea lo más grande posible y que además no sean solo letras si no también incluya números y caracteres de puntuación especial. Las redes inalámbricas suelen recurrir a varias medidas de seguridad como son [15]:

- ✘ El identificador de conjunto de servicios (*Service Set Identifier*, SSID) es una cadena de hasta 32 bytes el cual sirve para darle nombre a una red. Con este identificador cada

dispositivo que se requiera conectar a la red inalámbrica debe incluir el SSID en su configuración de red, por tal motivo los usuarios que conozcan este SSID pueden acceder a la red inalámbrica, una desventaja que tiene este método es que cualquier dispositivo que detecte el nombre de la red intentará conectarse a ella.

- ✘ Direcciones MAC. Es una característica establecida por el fabricante la cual es única para cada dispositivo. Los puntos de acceso pueden limitar el acceso a una red inalámbrica mediante las direcciones MAC que se encuentren registradas en el Access Point, esta configuración permite solo la comunicación entre un usuario que esté registrado y la red inalámbrica. Pero tiene la desventaja que las direcciones MAC ya pueden ser clonadas por los usuarios que estén escuchando el tráfico en la red WLAN.

El cifrado es un algoritmo que se usa para proteger la información basada en una clave, la cual puede ser de 40, 64 y 128 bits. Por ejemplo un cifrado de 40 bits ofrece  $2^{40}$  posibles combinaciones. La clave de cifrado y el mensaje original generan el mensaje codificado, existen dos tipos de cifrado, el cifrado de flujo y el cifrado por bloques; el cifrado de flujo se encarga de codificar el mensaje original bit por bit; a diferencia del cifrado de bloques, éste se encarga de fragmentar el mensaje original en bloques, para posteriormente cifrarlo bloque por bloque.

Debemos tomar en cuenta que las redes inalámbricas usan como medio de transmisión el espacio por lo que cualquier usuario puede acceder a la red con un equipo inalámbrico que trabaje con los estándares IEEE802.11, por tal motivo es recomendable emplear algoritmos de cifrado tales como el WEP, WPA y WPA2, mencionados en el estándar IEEE 802.11i.

### **2.5.2. WEP.**

El IEEE802.11 especifica un protocolo de encriptación llamado WEP [16], el cual proporciona dos piezas fundamentales en la arquitectura de seguridad inalámbrica: la autenticación y la confidencialidad; está basado en un algoritmo RC4 [17]. RC4 cuenta con una clave secreta de 40 y 104 bits y se combina con un vector de inicialización (VI) de 24 bits para encriptar los mensajes de texto. Debido a las grandes vulnerabilidades que presenta WEP, por ejemplo, contar con una clave fija y que no se puede modificar, se tuvo que cambiar por el estándar WPA.

### **2.5.3. WPA.**

WPA fue desarrollado por Wi-Fi Alliance en el año 2003 [18], es un método de encriptación para redes inalámbricas creado para ofrecer una mayor protección de seguridad que WEP. WPA o también llamado TKIP, es el método de encriptación elegido para sustituir y resolver los problemas de seguridad de WEP.

WPA ocupa el sistema de cifrado RC4, con un tamaño de clave de 128 bits, para garantizar la integridad TKIP utiliza el algoritmo Michael, generando un bloque de 4 bits denominado MIC, a partir de la dirección MAC origen, y la de destino. Un ataque posible contra este método de encriptación es la fuerza bruta, donde su principal objetivo es descifrar una clave o contraseña.

El estándar IEEE 802.1X [19], utiliza los mecanismos WPA, que se encarga de encapsular los protocolos de autenticación en la capa de enlace de datos, donde su objetivo es denegar el servicio hasta que el cliente no se haya autenticado correctamente, este estándar utiliza un servidor AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*) como RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Service*) y EAP (*Extensible Authentication Protocol*), protocolo que se emplea como transporte de terminal a terminal para los métodos de autenticación entre los dispositivos y los puntos de acceso. El estándar IEEE 802.1X se encarga de encapsular los mensajes EAP en el enlace de radio, también proporciona control de acceso al medio en la capa 2 del modelo OSI, aprobado en 2001, define un método de autenticación y autorización de conexiones a una red. Este estándar cuenta con tres elementos:

- ✧ El cliente que pretende autenticarse cuando desea acceder a la red.
- ✧ El punto de acceso se encarga de autenticar y encaminar el tráfico en la red.
- ✧ Servidor que autentica al cliente basado en RADIUS como se muestra en la figura 2.12.

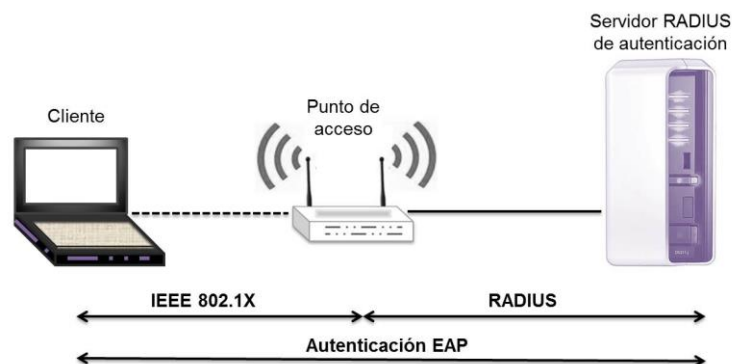


Figura 2.12. Autenticación 802.1x.

#### 2.5.4. WPA2.

En el mes de junio del 2004 fue certificada la versión final del estándar IEEE802.11i, este estándar recibió el nombre de WPA2 por parte de la *WiFi Alliance* [20], con la llegada de WPA2 trae consigo nuevos y significantes cambios como son, la separación de la autenticación de usuario de la integridad y privacidad de los mensajes, esto provoca una arquitectura más robusta, teniendo en cuenta que dichos cambios se pueden llevar a cabo en las redes locales (domésticas) y en las grandes redes corporativas.

A WPA2-CCMP (*WPA2-CCM Mode Protocol*) también se le conoce como WPA2-AES, este estándar implementa mayor protección de datos y un mejor control de acceso, además se puede elegir entre dos tecnologías de almacenamiento de contraseñas, la denominada PSK o WPA2 personal, este modo tiene una configuración rápida y sencilla por lo cual es recomendable para la instalación de redes inalámbricas domésticas, y la EAP o WPA2 *enterprise* este otro modo fue desarrollado para grandes instalaciones corporativas, en la cual se puede agregar un servidor central de contraseñas (como RADIUS o LDAP) para aumentar su seguridad.

**Referencias.**

- [1] <http://www.ieee.org/index.html>
- [2] Ahmad Aftab, *Wireless and Mobile Data Networks*, John Wiley and Sons, 2005.
- [3] Hiertz R. Guido *et al.*, “The IEEE 802.11 Universe”, en *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No. 1, Junio de 2010, pp. 62-70.
- [4] Robuck Kevin, 802.11n, USA, 2012.
- [5] Walke Bernhard, *IEEE 802 Wireless System*, John Wiley and Sons, England, 2006.
- [6] Black D. Uyless, *OSI: A Model for Computer Communications Standards*, Prentice-Hall, 1991.
- [7] Gast S. Matthew, *802.11 Wireless Networks*, O'Reilly Media, 2005.
- [8] Latchman A. Haniph, *Homeplug AV and IEEE 1901: A Handbook for PLC Designers and Users*, John Wiley and Sons, 2013.
- [9] Sklar Bernard, *Digital Communications Fundamental and Applications*, Prentice Hall, USA.
- [10] Ley Federal de Telecomunicaciones, Última reforma publicada DOF 16-01-2013.
- [11] IEEE, “Part 11: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-Speed Physical Layer in the 2.4GHz Band*”, noviembre de 2001.
- [12] Ibnkahia Mohamed, *Adaptation and Cross Layer Design in Wireless Networks*, CRC Press, 2008.
- [13] Earle Aarón E., *Wireless Security Handbook*, Averbach Publications, USA, 2006.
- [14] Tanenbaum Andrew S., *Redes de computadoras*, Pearson, México, 2012.
- [15] Potter Bruce, *802.11 Security*, O'Reilly Media, 2002.
- [16] Nichols Randall K., *Wireless Security, Models, Threats and Solutions*, McGraw Hill, USA, 2002.
- [17] Rhee Young Man, *Internet Security: Cryptographic Principles, Algorithms and Protocols*, John Wiley and Sons, 2003.
- [18] Gómez Vieites Álvaro, “Enciclopedia de la seguridad informática”, Alfa Omega, 2011.
- [19] Schwartzkopff Michael, “Radiux and 802.1X”, en *Linux Magazine*, marzo de 2005, pp. 62-65.
- [20] Ciampa Mark, *Security + Guide to Network Security Fundamentals*, Engage Learning, USA, 2006.



# Capítulo 3

Bases de datos y conexión remota por sockets



### 3.1 Bases de datos.

La colección de datos, normalmente denominada bases de datos, es un conjunto de información almacenada en una terminal que contiene datos relevantes para una empresa, bancos, Universidades, transacciones de tarjetas de crédito, telecomunicaciones, finanzas, ventas, comercio en línea, producción y recursos humanos. No cabe duda que la información es la base de nuestra sociedad, recibimos y manejamos grandes cantidades de información y de datos; por lo tanto, el conocimiento sobre el sistema gestor de bases de datos (SGBD) es fundamental, ya que su finalidad es almacenar información y permitir a los usuarios recuperar y actualizar la información con base a peticiones [1]. Se define al SGBD como una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a dichos datos. El objetivo principal para un SGBD es proporcionar una forma de almacenar y recuperar la información de una base de datos de manera que sea práctica y eficiente [2].

Para simplificar el diseño de una base de datos se utilizan diferentes modelos, con ideas lógicas para representar la estructura de datos y las relaciones entre ellos dentro de la base de datos. El modelo de bases de datos es un mecanismo formal para representar y manipular información de manera general y sistemática, que sirve para describir los datos, sus relaciones y su semántica. Uno de los modelos más utilizados en la actualidad es el modelo relacional donde los datos se almacenan lógicamente en forma de relaciones o tablas, para representar los datos y sus relaciones. Las tablas están formadas por varias columnas cada una con su propio nombre, además contienen registros de un tipo en específico, los cuales contienen un número de campos fijos predeterminado. El modelo relacional es la representación lógica del esquema Entidad/Relación, el cual se basa en la percepción del mundo real a través de entidades, como objetos, personas, lugares, cosas o eventos de interés que existen y que se distinguen de otras entidades por sus características; y de las cuales puede existir una relación entre ellos donde las propiedades o características que describen a las propiedades se les denominan atributos [3].

#### 3.1.1. Esquema Entidad/Relación.

El esquema Entidad/Relación es un conjunto de objetos llamados entidades, atributos y relaciones propuesta por Chen en 1976 [4]. Una entidad es una cosa u objeto del mundo real que se distingue de otros objetos. Las entidades se describen en las bases de datos a través de un conjunto de atributos los cuales pueden ser: apellido de la persona, número telefónico, número de cuenta de banco, domicilio del trabajo, etcétera.

Las entidades son los objetos principales sobre los que se debe obtener información y se representa por un rectángulo en el modelo Entidad/Relación, existen dos clases de entidades,

las fuertes y las débiles. Las entidades fuertes no dependen de otra entidad para existir, en cambio las entidades débiles dependen de una entidad para que puedan existir, en este tipo de entidades debe participar una interrelación que ayude a identificarla, se representa con un rectángulo doble, como se muestra en la figura 3.1.

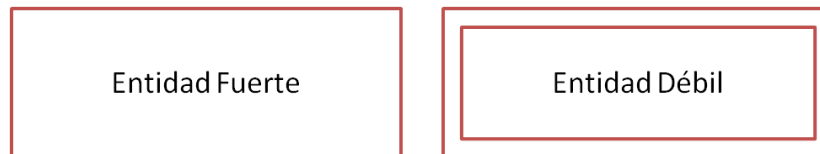


Figura 3.1. Representación de entidades fuerte y débil.

Los atributos son aquellos que describen las propiedades o las ocurrencias de las entidades, por ejemplo: un identificador, nombre, peso, color etcétera. Denotado mediante su nombre escrito en minúsculas unido al rectángulo por medio de una línea, figura 3.2. Cabe resaltar que los atributos necesariamente necesitan de una entidad para que puedan existir.

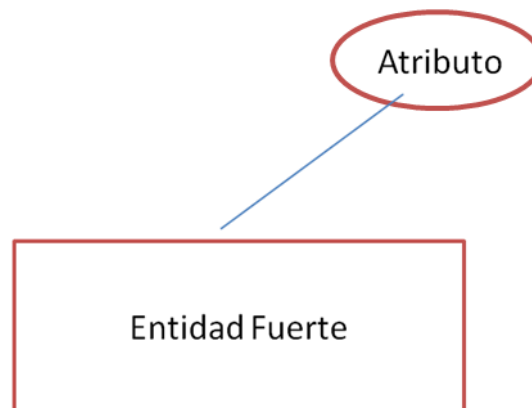


Figura 3.2. Representación de atributos.

Existen atributos univaluados y multivaluados, es decir, un atributo univaluado tiene un único valor como por ejemplo un número de seguro social, y en caso de los hombres un número de cartilla militar. Multivaluados tienen varios valores por cada ocurrencia de la entidad como el domicilio de una persona ya que se puede dividir en calle, colonia, delegación, estado.

Un atributo clave o llave es aquella que identifica a la identidad de manera única, se subraya para distinguirla del resto de los atributos.

La forma de unir entidades es por medio de la relación, la cual se representa por su nombre, el grado (cuántas entidades están ligadas en la relación) y por su correspondencia que expresa el número de ocurrencias o características de una de las entidades con las ocurrencias o características de la otra entidad. Se representa por un rombo, figura 3.3.

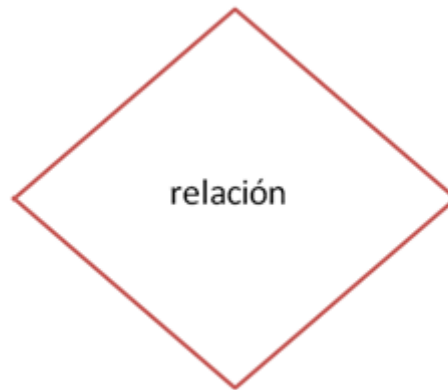


Figura 3.3. Representación de relaciones.

Un ejemplo de una relación uniendo los elementos que forman un modelo Entidad/Relación se representa en la figura 3.4, donde las entidades son alumnos y asignatura, los atributos de los alumnos son nombre, dirección, población, teléfono y número\_matricula (como número\_matricula identifica de manera única a los estudiantes se subraya para distinguirla del resto de los atributos, se le conoce como clave o llave primaria) y los atributos de asignaturas son: nombre y número\_asignatura, estas dos entidades están relacionados mediante la asignatura que cursan, por lo tanto la interrelación que une a las entidades se llama cursan.

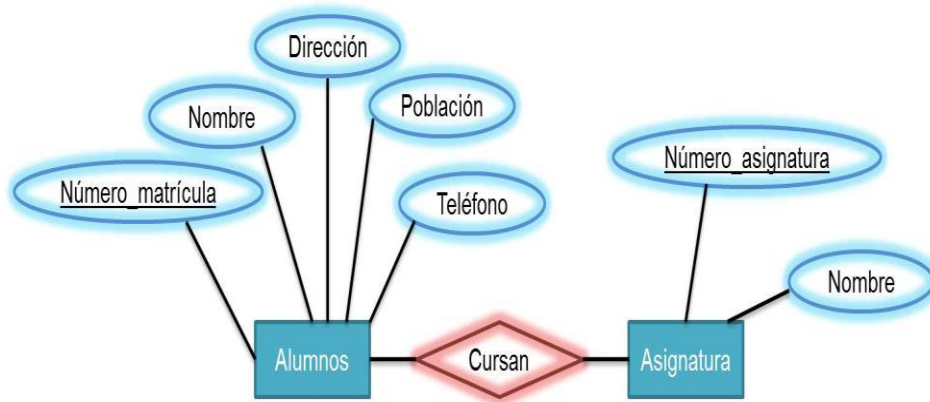


Figura 3.4. Ejemplo del modelo Entidad/Relación.

En el esquema de Entidad/Relación existen cuatro tipos de relaciones:

- ✘ Relaciones uno a uno (1:1).
- ✘ Relaciones uno a muchos (1:N).
- ✘ Relaciones muchos a uno (N:1).
- ✘ Relaciones muchos a muchos (M:N).

En las relaciones 1:1 a cada elemento de la primera entidad le corresponde solo uno de la segunda entidad, y a la segunda entidad le corresponde solo uno de la primera entidad, por ejemplo, un cliente puede solicitar una habitación de un hotel y esa habitación le pertenece al cliente, figura 3.5.

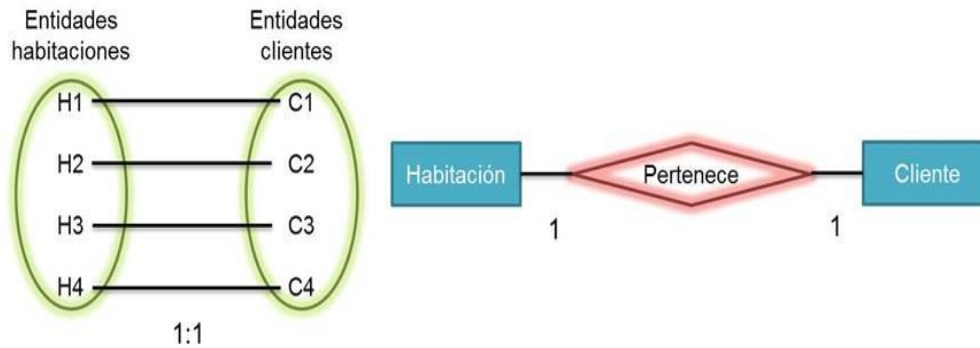


Figura 3.5. Representación de relaciones uno a uno.

En la figura 3.6 se muestra la relación 1:N, a cada elemento de la primera entidad le corresponde uno o más de la segunda entidad, y a cada elemento de la segunda entidad le corresponde solo uno de la primera entidad, por ejemplo un proveedor suministra diversos artículos.

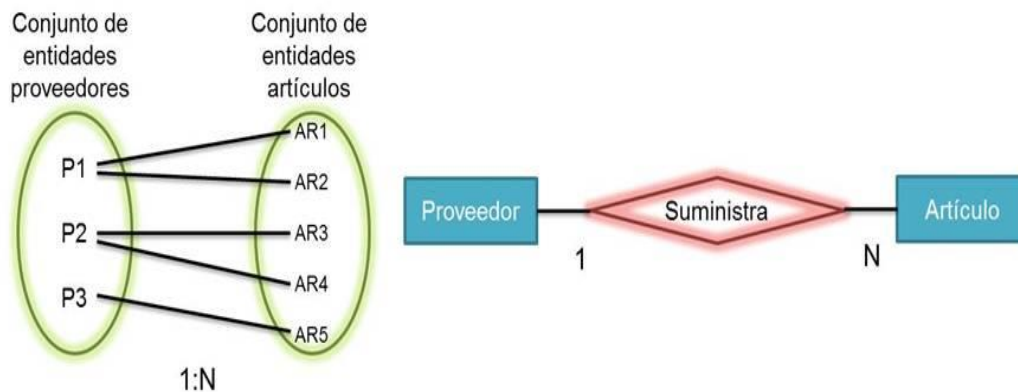


Figura 3.6. Representación de relaciones uno a muchos.

Las relaciones N:1 a cada elemento de la primera entidad le corresponde solo uno de la segunda entidad, y a cada elemento de la segunda entidad le corresponde uno o más de la primera entidad, por ejemplo un artículo es suministrado por diferentes proveedores.

Las relaciones M:N a cada elemento de la primera entidad le corresponde uno o más de la segunda entidad, y a cada elemento de la segunda entidad le corresponde uno o más de la primera entidad, por ejemplo varios proveedores venden muchos artículos, figura 3.7.

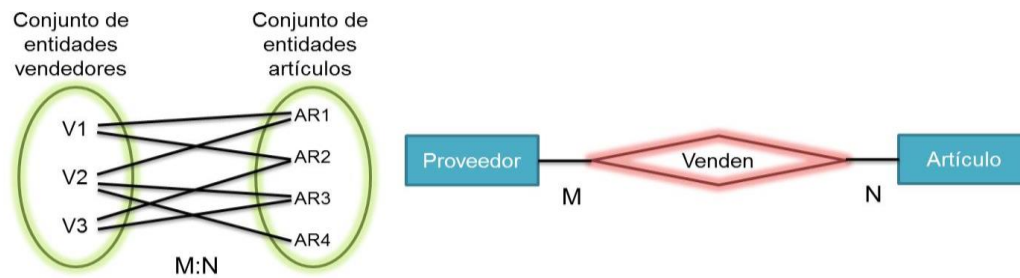


Figura 3.7. Representación de relaciones muchos a muchos.

### 3.1.2. Modelo relacional.

En 1970 nacen las bases de datos relacionales presentadas por Codd, estos datos relacionales están formados por tablas bidimensionales constituidas por filas (tuplas) y columnas (atributos), permitiendo el control, la organización y la consulta de información contenida en la base de datos.

Como ya se mencionó una base de datos del modelo relacional se representa gráficamente como una estructura rectangular formada por filas y columnas. Cada columna almacena información sobre una propiedad determinada de la tabla como por ejemplo: nombre, dirección, edad, domicilio. Y cada fila posee una ocurrencia de la instancia o relación representada por la tabla.

La estructura del modelo relacional se representa mediante el siguiente ejemplo. Considere la tabla cuenta de la tabla 3.1. Tiene tres cabeceras de columna: número\_cuenta, nombre\_sucursal y saldo. Siguiendo la terminología del modelo relacional, a las cabeceras se les conoce como atributos. Para cada atributo hay un conjunto de valores permitidos, denominado tuplas de ese atributo. Para el atributo Nombre\_sucursal la tupla es el conjunto de todos los nombres de sucursal, para el atributo Numero\_cuenta es el conjunto de números de cuenta y por último el atributo Saldo es el conjunto de números que representan la cantidad del saldo.

Numero_cuenta	Nombre_sucursal	Saldo
C-101	Centro	500
C-102	Navacerrada	400
C-201	Galapagar	900
C-215	Becerril	700
C-217	Galapagar	750
C-222	Moralzarzal	700
C-305	Collado Mediano	350

Tabla 3.1. Ejemplo de la estructura del modelo relacional.

Cuando ya contamos con la estructura del modelo relacional es conveniente la realización de un esquema de bases de datos, un esquema relacional se representa mediante un grafo relacional. Básicamente se trata de un grafo dirigido cuyos nodos son las relaciones de la base de datos. El nombre de las tablas está representado en mayúsculas y el de los atributos en minúsculas. Primero aparece el nombre de la relación y entre paréntesis sus atributos [5]. Por ejemplo en la tabla anterior su esquema relacional queda de la siguiente manera.

CUENTA = (Numero\_cuenta, Nombre\_sucursal, Saldo).

### 3.1.3. Diseño de una base de datos.

El desarrollo de una base de datos se integra dentro de un proceso más amplio, que va desde que se toma la iniciativa de crear la base de datos, hasta que se encuentra totalmente terminada. Por tal motivo la realización o creación de una base de datos es una tarea difícil o compleja.

Cuando se desea diseñar una base de datos el proceso consiste en cuatro etapas:

- ✘ Recopilación de información.
- ✘ Diseño conceptual.
- ✘ Diseño lógico.
- ✘ Diseño físico.

Recopilación de la información. Es la primera etapa del diseño, la cual se encarga de reunir la información de los requisitos o características de las personas, empresas, negocios o clientes que desean realizar una base de datos.

Diseño conceptual. En esta etapa se desarrolla la problemática de la estructuración de la información mediante la elaboración de un esquema de bases de datos, por ejemplo un esquema Entidad/Relación que proporciona una visión detallada de la empresa, negocio o cliente. El diseño conceptual especifica las entidades que se representan en las bases de datos, como sus atributos y las relaciones entre ellas, además debe indicar los requisitos funcionales de la empresa, donde los usuarios describen los tipos de operaciones que se llevarán a cabo sobre los datos por ejemplo: la modificación o actualización de datos, la búsqueda y recuperación de datos concretos y el borrado o eliminación de datos.

Diseño lógico. Después de obtener el esquema Entidad/Relación el siguiente paso es traducir el modelo anterior a un modelo de datos de la implementación del sistema de bases de datos que se va a usar, el modelo utilizado en esta etapa es el modelo relacional que está constituido por tablas. En el diseño lógico se deben evitar redundancias, se debe conseguir que sea fácil para

los usuarios y evitar cargas suplementarias de programación. Todo esto para lograr confidencialidad, integridad, flexibilidad y un menor tiempo de respuesta.

Para pasar del esquema Entidad/Relación en el diseño conceptual a un modelo relacional en el diseño lógico existen una serie de reglas que se deben seguir:

- ✘ Cada entidad del diseño conceptual se transforma en una tabla.
- ✘ Las relaciones N:M se transforman en una tabla.
- ✘ Las relaciones 1:N dan lugar a una clave primaria o a una tabla.

Diseño físico. En la última etapa de diseño se tienen que tomar en cuenta las características de las SGBD, del sistema operativo y del hardware, esto se hace para disminuir los tiempos de respuesta, minimizar el espacio de almacenamiento, proporcionar la máxima seguridad y optimizar el consumo de recursos, todo esto con el fin de implementarlo en un software dedicado como es Oracle, MySQL, *Microsoft Access* o *Visual FoxPro*.

#### **3.1.4. Lenguaje Estructurado de Consultas SQL (*Structured Query Language*).**

Después de contar con la información necesaria y el diseño de la base de datos se requiere un lenguaje de consultas para bases de datos relacionales y para los sistemas de administración de bases de datos. El lenguaje de consultas más utilizado en la actualidad es SQL, se desarrolló a inicios de los años 70, desarrollado por IBM (*International Business Machines*) conocido entonces como SEQUEL. El estándar ANSI (*American National Standards Institute*) adoptó este lenguaje en el año 1986 como una norma de acceso para bases de datos relacionales junto con la organización ISO (*International Standard Organization*) el cual nombraron como SQL-86 [6].

Este lenguaje fue desarrollado para la manipulación de información de las bases de datos, también se encarga de definir la estructura de los datos, modificar los datos de la base, especificar restricciones de seguridad y diversas características relacionadas como las variables y los manejadores de excepciones. Como consecuencia, el lenguaje SQL tiene varios componentes, que son:

- ✘ Lenguaje de Definición de Datos (LDD), este componente se encarga de proporcionar comandos que sirven para la modificación, borrado y definición de los esquemas de relación, así como las restricciones de integridad que deben cumplir los datos almacenados y cumple con comandos para la definición de vistas.

- ✘ Lenguaje interactivo de Manipulación de Datos (LMD). Este lenguaje incluye el álgebra relacional y el cálculo relacional de tuplas [2]. Además cuenta con comandos para insertar, borrar y modificar tuplas.
- ✘ Control de transacciones. Se refiere a los comandos que se usan para el comienzo y el final de las transacciones.
- ✘ SQL incorporativo y SQL dinámico. Se encargan de definir las instrucciones de SQL para los lenguajes de programación como C, C++, JAVA, PASCAL, QBOL, FORTRAN y PHP.

SQL soporta una gran variedad de tipos de dominios predefinidos, ya que trabaja con esquemas y valores de dominios.

Los tipos de dominios predeterminados son:

- ✘ `char (n)`, es una cadena de caracteres de longitud fija.
- ✘ `varchar (n)`, es una cadena de caracteres de longitud variable.
- ✘ `Int`, es un subconjunto finito de números enteros.
- ✘ `Smallint`, es un número entero pequeño.
- ✘ `numeric (p,d)`, es un número de  $p$  dígitos (más el signo), y de esos  $p$  dígitos,  $d$  pertenece a la parte decimal.
- ✘ `real`, *double precision*, son números de punto flotante sencillos y de doble precisión.
- ✘ `float (n)`, es un número de punto flotante cuya precisión es de  $n$  dígitos.

A continuación se presenta un ejemplo en la figura 3.8 de un esquema que maneja SQL, con los tipos de dominios descritos anteriormente.

```

create table cliente
(nombre_cliente      char(20),
calle_cliente       char(30),
ciudad_cliente      char(30),
primary key(nombre_cliente))

create table sucursal
(nombre_sucursal     char(15),
Activos             numeric(16,2),
ciudad_sucursal     char(30),
primary key(nombre_sucursal))

create table cuenta
(numero_cuenta      char(10),
saldo              numeric(12,2),
nombre_sucursal    char(15),
primary key(numero_cuenta))

create table impositor
(nombre_cliente     char(20),
numero_cuenta      char(10),
primary key(nombre_cliente, numero_cuenta))

```

Figura 3.8. Definición de datos SQL.

Las relaciones se definen mediante el comando *create table*, donde cliente, cuenta, sucursal e impositor son los nombres de las tablas. Los atributos de la tabla cliente son: nombre\_cliente, calle\_cliente y ciudad\_cliente; los atributos de la tabla sucursal son: nombre\_sucursal, activos y ciudad\_sucursal; los atributos de la tabla cuenta son: numero\_cuenta, saldo y nombre\_sucursal; y por último los atributos de la tabla impositor son: nombre\_cliente y numero\_cuenta. Las especificaciones de la llave primaria (*primary key*) determinan que los atributos, nombre\_cliente, nombre\_sucursal, numero\_cuenta forman la llave primaria de la relación. Los atributos de la llave primaria tienen que ser no nulos y únicos; es decir, ninguna tupla debe tener un valor nulo para un atributo de la llave primaria y ningún par de tuplas de la relación puede ser igual en todos los atributos de la llave primaria [2].

Es posible observar que a cada tabla se le asigna un valor único y permite al usuario especificar los atributos que tiene cada interrelación, debido a esto ya se puede realizar una estructura básica de consultas SQL mediante las cláusulas *select*, *from* y *where*.

Cláusula *select*. Se usa para obtener una relación de los atributos deseados en los resultados de una consulta.

Cláusula *from*. Genera una lista de las relaciones que deben ser analizadas.

Cláusula *where*. Es un predicado que engloba a los atributos de las relaciones que aparecen en la cláusula *from*.

Consideremos una consulta simple por medio de las cláusulas que se describieron, obtener de la tabla cuenta los clientes que tengan un saldo de entre 700 y 1500.

```
select cuenta
where saldo between 700 and 1500.
```

### 3.2 Protocolos TCP y UDP.

El protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*), es un protocolo confiable orientado a conexión que permite enviar los datos de un extremo a otro de la conexión detectando errores y el protocolo UDP (*User Datagram Protocol*), es un protocolo que permite el envío de paquetes a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión.

En la figura 3.9 se muestra el formato de un mensaje TCP, denominado segmento, los segmentos se intercambian para establecer conexiones, transferir datos, enviar acuses de recibo, anunciar los tamaños de ventana y para cerrar conexiones [7].

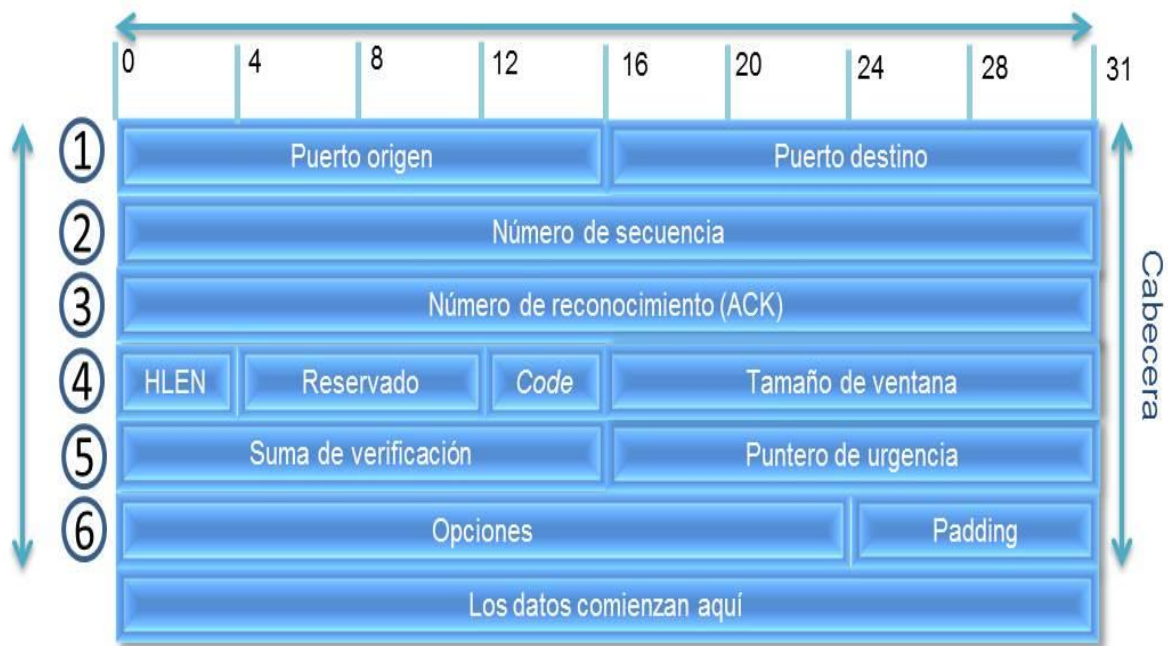


Figura 3.9. Formato de mensaje TCP.

Como se puede observar en la figura 3.9, el formato de mensaje se compone de varios campos.

- ✘ Puerto origen y destino. Contienen los números de puerto TCP de 16 bits, que identifican a los programas de aplicación en los extremos de la conexión.
- ✘ Número de secuencia. Longitud de 32 bits, que indica el número de secuencia del primer byte que transporta el segmento.
- ✘ Número de reconocimiento. Longitud de 32 bits, que indica el número de secuencia del siguiente byte que espera recibir. Con este campo se indica al otro extremo que los bytes anteriores se han recibido correctamente.
- ✘ HLEN. Contiene un número entero de 32 bits que especifica la longitud del encabezado del segmento. Técnicamente, este campo indica el comienzo de un segmento, medido en palabras de 32 bits.
- ✘ Reservado. Campo de 6 bits, reservado para la corrección de errores del diseño original.
- ✘ *Code* bits. Este campo tiene 8 banderas de 1 bit, que determinan el propósito y contenido del segmento, mostradas en la tabla 3.2.

Bandera	Descripción
CWR	Se utiliza para indicar congestión.
ECE	Se utiliza para reducir la velocidad cuando el receptor TCP recibe una indicación de congestión en la red.
URG	Apuntador urgente, se utiliza para indicar un desplazamiento en bytes
ACK	Se establece en 1 para indicar que el número de confirmación es válido. Si ACK, es cero, el segmento no contiene una confirmación de recepción.
PSH	Envía los datos existentes en memoria temporal sin esperar a completar el segmento.
RST	Interrupción de la conexión actual.
SYN	Sincronización de los números de secuencia. Se usa para establecer conexiones e indicar al otro extremo cual va a ser el primer número de secuencia con el que va a empezar a transmitir.
FIN	Se usa para liberar una conexión.

Tabla 3.2. Banderas del campo *code bits*.

- ✘ Tamaño de ventana. El control de flujo en TCP se maneja mediante una ventana. En este campo de 16 bits, se indica la cantidad de bytes que se pueden enviar, comenzando por el byte cuya recepción se ha confirmado.
- ✘ Suma de verificación (16 bits). Este campo es utilizado para la detección de errores.
- ✘ Puntero de Urgencia (16 bits). Este campo es utilizado cuando son enviados datos urgentes y que tienen preferencia sobre los demás, e indica el siguiente byte del campo Datos que sigue a los datos urgentes, lo que permite al destino saber cuándo terminan los datos urgentes.
- ✘ *Padding*. Se utiliza para que la longitud de la cabecera sea de 32 bits.
- ✘ Opciones. Este campo es de longitud variable y ofrece una forma de agregar las características adicionales que no están cubiertas por el encabezado normal.

El protocolo UDP, es un protocolo de transporte sin conexión, proporciona una forma para que las aplicaciones envíen datagramas IP encapsulados sin tener que establecer una conexión. UDP transmite segmentos que consisten en un encabezado de 8 bytes, seguidos de la carga útil. En la figura 3.10 se muestra el formato del mensaje UDP, este protocolo

reduce la información enviada de un extremo a otro incluida en la cabecera del datagrama, aumentando la velocidad de transmisión.



Figura 3.10. Formato de mensaje UDP.

Como se puede observar en la figura 3.10, el formato de mensaje se compone de varios campos [8].

- ✘ Puerto origen y destino (16 bits). Estos puertos sirven para identificar los puntos terminales dentro de la red.
- ✘ Longitud. Especifica la longitud medida en bytes del mensaje UDP incluyendo la cabecera. La longitud mínima es de 8 bytes.
- ✘ *Checksum*. Campo de 16 bits utilizado para la detección de errores del mensaje.

Al igual que TCP, UDP también tiene número de puertos asignados para servicios, en la tabla 3.3 se listan algunos de los puertos asignados.

Puerto	Nombre del servicio	Descripción
7	<i>ECHO</i>	Devuelve a su punto de origen cualquier dato recibido desde la red.
13	<i>DAYTIME</i>	Hora del día.
19	<i>CHARGEN</i>	Generador de caracteres.
53	<i>DOMAIN</i>	Servidor de nombres de dominios.
69	TFTP	Transferencia trivial de archivos.
123	NTP	Protocolo de tiempo de red.

Tabla 3.3. Servicios asignados para UDP.

### 3.3. Conexión remota por sockets.

El funcionamiento de una red hace algunos años implicaba tener un medio de transmisión dedicado de una computadora a otra, es decir, ninguna otra computadora podía compartir el medio. Al paso de los años se hizo posible el concepto de medio compartido de transmisión, esto implica que cada computadora necesitaba identificarse de forma única y se tenían que realizar turnos en la transmisión; en ocasiones las computadoras hacían la transmisiones al mismo tiempo causando una colisión de los paquetes. Esto hace fijar la atención en la transmisión y recepción de mensajes, la API de *sockets* (*Application Programming Interface*) suministra a los diseñadores el medio para recibir o enviar mensajes. En la universidad de Berkeley, en California, se diseñó para su sistema operativo BSD Unix (*Berkeley Software Distribution*), una interfaz que permite a los programas acceder y comunicarse a través de una red de computadoras, llamada interfaz de *sockets* [9].

Las comunicaciones realizadas, por medio de *sockets*, basadas en UNIX permiten a las aplicaciones trabajar con la pila de protocolos TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*). Internet está basado en la comunicación por medio de *sockets* y fue diseñado para operar en una red de conmutación de paquetes [10]. Los paquetes deben contener toda la información necesaria para comunicarse con la computadora destino, es decir, debe incluir la dirección destino y origen. La pila TCP/IP es la encargada de garantizar la fiabilidad de los datos encontrando rutas para la transmisión de los paquetes. Esta pila está integrada por cuatro: la capa de acceso a la red, de red, de transporte y de aplicación [11], figura 3.11, y cada capa cuenta con diferentes protocolos.

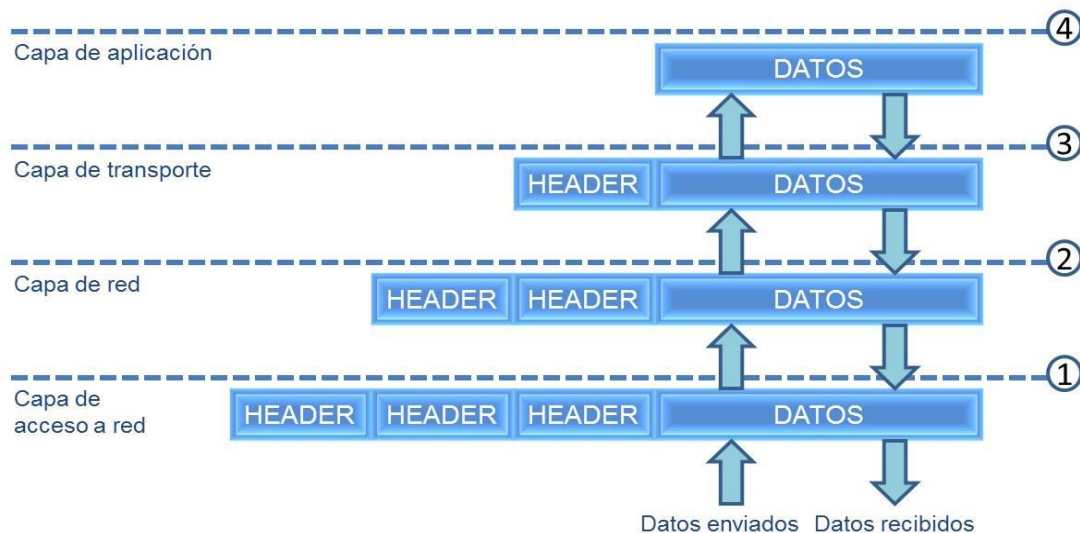


Figura 3.11. Encapsulado de datos TCP/IP.

La primera capa se encarga del intercambio de datos entre un sistema terminal ya sean servidores o computadoras, por medio de un cable coaxial, un cable de par trenzado, fibra óptica o una línea telefónica.

La capa de red, se encarga de encapsular los paquetes provenientes de la capa de acceso a la red en datagramas por medio del protocolo IP (*Internet Protocol*). En esta capa también se encuentra el protocolo ICMP (*Internet Control Messaging Protocol*), este protocolo es utilizado para comunicar mensajes de estado y error, los mensajes ICMP indican situaciones de error que se han producido en el envío de datagramas, tales como cuando un datagrama no ha alcanzado su destino, cuando un dispositivo de la red está sobrecargado (puerta de enlace), y no es capaz de reenviar un datagrama, o que exista una ruta más corta para la transmisión de datos a la computadora destino [12].

La capa transporte es la que se encarga de verificar la llegada de los paquetes IP a su destino, para esto utiliza dos tipos de protocolos: TCP y UDP, descritos en el tema 3.2.

En la última capa se encuentran los protocolos de aplicación y dependen del protocolo por el cual se realiza la comunicación en la capa de transporte, es decir, para TCP se utiliza FTP (*File Transfer Protocol*) para la transferencia de archivos, SMTP (*Simple Network Management Protocol*) para correo electrónico, HTTP (*Hipertext Transfer Protocol*) que permite el intercambio de documentos en formato hipertexto y TELNET (*Telecommunication Network*), terminal virtual, que permite establecer una conexión remota con otro equipo. Para UDP se utiliza el protocolo RTP (*Real Time Protocol*), que permite transmitir medios en tiempo real, como voz, datos y videos [13]. En la figura 3.12 se muestran los protocolos con los que trabajan las diferentes capas del modelo TCP/IP.

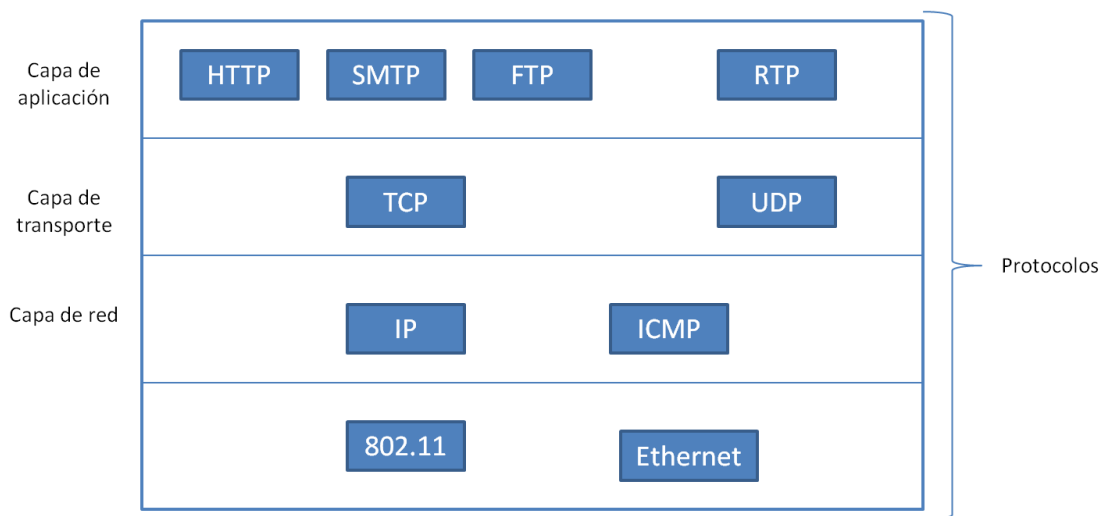


Figura 3.12. Protocolos del modelo TCP/IP.

La comunicación de *sockets* se establece por medio del protocolo IPv4 (capa de red), un puerto y un protocolo de transporte (capa de transporte), por lo tanto, la comunicación *socket* está basada en las capas de red y transporte de la pila del protocolo TCP/IP.

El protocolo IP, llamado protocolo de Internet, tiene como finalidad transmitir datagramas a través de una red hasta que cada datagrama alcance su destino. Para el protocolo IP un datagrama es el formato que debe tener un paquete de datos en la capa de red, en la figura 3.13 se representa la estructura del datagrama IPv4.



Figura 3.13. Paquete IPv4, datagrama.

Como se puede observar en la figura 3.13, el datagrama se compone de diferentes campos los cuales cumplen con una función específica [14].

- ✘ Versión: Campo de 4 bits que especifica la versión IP que se utiliza (IPv4 o IPv6).
- ✘ IHL (*Internet Header Length*): Indica el número de palabras de 32 bits que tiene la cabecera.
- ✘ Tipo de servicio: Campo de 8 bits que indica la calidad del servicio, en la tabla 3.4 se puede observar el valor del tipo de servicio, y cada servicio ocupa 4 de los 8 bits reservados para este campo.

Valor del tipo de servicio	Descripción
0000	Valor por defecto
0010	Maximizar fiabilidad
0100	Maximizar rendimiento
1000	Minimizar retraso
1111	Maximizar la seguridad

Tabla 3.4. Valor del tipo de servicio.

- ✘ Longitud total. Campo de 16 bits que describe la longitud máxima de un paquete IP.
- ✘ Identificación. Este campo de 16 bits es utilizado cuando se ha llevado a cabo la fragmentación IP. Cada fragmento tiene el mismo número de identificación, para que una terminal pueda reconocer que los fragmentos son de un mismo datagrama.
- ✘ *Flags*. Campo de 3 bits que define la fragmentación. El primer bit está reservado y siempre permanece en 0, el segundo bit (*DF, Disable Fragmentation*), indica si la fragmentación es posible o no, y el tercer bit (*MF, More Fragments*), y es utilizado para identificar el último fragmento de una serie de paquetes fragmentados.
- ✘ *Offset* de fragmentación. Campo de 13 bits que permite organizar los fragmentos en forma secuencial.
- ✘ Tiempo de vida (*TTL, Time To Live*). Es un campo de 8 bits que establece el tiempo máximo que un datagrama puede estar en la red sin alcanzar su destino. En cada dispositivo de enrutamiento de la red se va reduciendo este campo, de manera que cuando alcanza el valor cero se considera como paquete muerto y es eliminado.
- ✘ Protocolo. Es un campo de 8 bits que permite identificar el protocolo de la capa de red, es decir, que tipos de datos está transportando IP en su campo de información.
- ✘ *Checksum*. Es un campo de 16 bits que es utilizado para la detección de errores.
- ✘ Dirección Origen. Dirección IP de 32 bits de la terminal que envió el datagrama.
- ✘ Dirección destino. Es la dirección IP de 32 bits al que va dirigido el datagrama.
- ✘ Opciones. La longitud de este campo es variable; usado para la seguridad, proporciona el mecanismo necesario para que el origen, detalle el camino a seguir por los datagramas y así lleguen a su destino (esta información es utilizada por *routers* y *gateways*).
- ✘ *Padding*. Se encarga de verificar que los encabezados IP tengan una longitud de 32 bits.

Las direcciones IPv4 se representan por un valor de 32 bits, se dividen en cuatro grupos de 8 bits y cada uno de estos se traduce a su equivalente decimal y se separan por un punto, cada octeto toma un número entre el 0 y el 255, figura 3.14. Las direcciones IPv4 tienen la finalidad de identificar un equipo en la red y están divididas en dos partes: la que identifica a la red y otra que identifica al equipo.

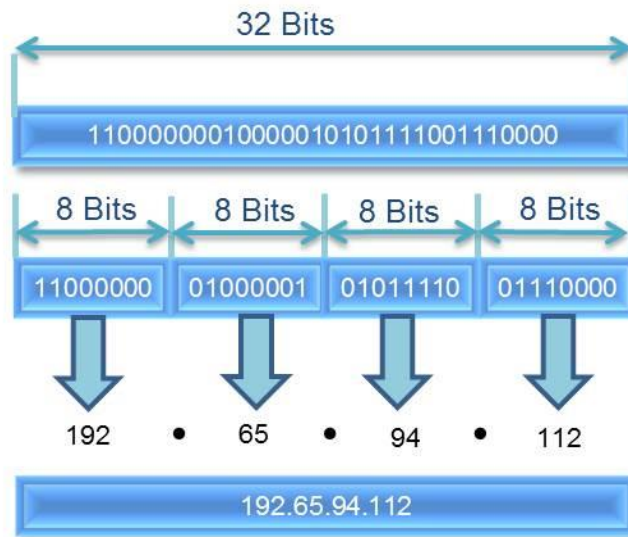


Figura 3.14. Direcciones IP.

Existen cinco clases de redes IPv4 y se clasifican con base al número de octetos que ocupan, para identificar el número de la red. A continuación se describen las cinco clases [15].

- ✧ Clase A. Reserva direcciones IP para instituciones gubernamentales, el primer octeto se utiliza para identificar a la red, el primer bit de este octeto siempre es un 0, y los 24 bits restantes (3 octetos), se utilizan para representar las direcciones de las terminales, por lo tanto, se pueden manejar 126 redes, es decir,  $(2^7-2)$ , cada una de las cuales puede tener 16,777,216 terminales conectadas  $(2^{24}-2)$ , se restan dos debido a que se reservan aquellas direcciones cuyos valores sean todos ceros (identificación de la red clase A) o todos unos (*broadcast* clase A). las direcciones, en representación decimal, están comprendidas entre 0.0.0.0 y 127.255.255.255 y la máscara de subred es de 255.0.0.0
- ✧ Clase B. Está designada para grandes y medianas empresas. Los dos primeros octetos identifican el número de redes,  $2^{14}$  (16,384) y 16 bits para identificar a las terminales de la red,  $2^{16}-2$  (65,534), al igual que en la clase A, se restan dos debido a que son reservadas para el mismo caso. Las direcciones, en representación decimal, están comprendidas entre 128.0.0.0 y 191.255.255.255 y su máscara de subred es de 255.255.0.0.
- ✧ Clase C. Está designada para empresas pequeñas o usuarios que deseen implementar una red en casa, las direcciones clase C tienen 21 bits destinados a identificar a la red,  $2^{21}$  redes (2,097,152) y 8 bits para identificar a las terminales,  $2^8$  (254), las direcciones, en representación decimal, están comprendidas entre 192.0.0.0 y 223.255.255.255 y su máscara de subred es 255.255.255.0.

- ✘ Clase D. Es utilizada para redes de tipo *multicast*, una red *multicast* permite transmitir los mismos datos a diferentes terminales. Los primeros 4 bits, del primer octeto son siempre 1110. Las direcciones, en representación decimal, están comprendidas entre 224.0.0.0 y 239.255.255.255.
- ✘ Clase E. Esta clase es utilizada con fines experimentales. Los primeros 4 bits, del primer octeto son siempre 1111. Las direcciones, están comprendidas entre 224.0.0.0 y 255.255.255.255.

La máscara de subred sirve para identificar el tipo de red a la que está conectada una terminal, siendo su nomenclatura la siguiente: los valores 255 corresponden a los números que identifican a la red (valor 11111111) y el octeto 0, identifican las posiciones donde se direccionan las terminales en la red.

Para obtener la dirección de la red, se aplica una operación booleana *AND*, a las direcciones de los equipos conectados a la red y a la máscara de la red. Por ejemplo, si tenemos una dirección IP de 192.168.1.180 con una máscara de red de 255.255.255.0, se obtiene una dirección de red de 192.168.1.0, que pertenece a la clase C, como se observa en la tabla 3.5.

	Decimal	Binario
Dirección IP	192.168.1.180	11000000.10110100.00000001.10111010
Mascara	255.255.255.0	11111111.11111111.11111111.00000000
Dirección de red (Resultado de aplicar <i>AND</i> )	192.168.1.000	11000000.10110100.00000001.00000000

Tabla 3.5. Dirección de la red a la que pertenece la terminal.

El protocolo TCP, fue diseñado para proporcionar un flujo de bytes confiable de extremo a extremo a través de una red. TCP se definió en el RFC 793, en septiembre de 1981 [11]. El servicio TCP se obtiene al crear puntos terminales entre el servidor y receptor, llamados *sockets*. Las primitivas de *socket* que se utilizan para TCP, para establecer un punto terminal, se listan en la tabla 3.6 y se utilizan mucho en la actualidad para la programación de Internet en sistemas operativos, en especial UNIX [16].

Primitiva	Significado
<i>SOCKET</i>	Crea un nuevo punto terminal de comunicación.
<i>BIND</i>	Asocia una dirección local con un <i>socket</i> .
<i>LISTEN</i>	Anuncia la disposición de aceptar conexiones.
<i>ACCEPT</i>	Establece en forma pasiva una conexión entrante.
<i>WRITE</i>	Envía datos a través de la conexión.
<i>READ</i>	Recibe datos de la conexión.
<i>CLOSE</i>	Libera la conexión.

Tabla 3.6. Primitivas de socket para TCP.

- ✘ *SOCKET*. Crea un punto terminal y especifican el formato de direccionamiento que se utilizará, el tipo de servicio deseado y el protocolo.
- ✘ *BIND*. Esta primitiva se encarga de asignar direcciones a los *sockets* creados. Una vez que un servidor ha destinado una dirección a un *socket*, los clientes remotos pueden conectarse al servidor.
- ✘ *LISTEN*. Se encarga de asignar espacio para poner en espera las llamadas entrantes, en caso de que varios clientes intenten conectarse a él.
- ✘ *ACCEPT*. Acepta la conexión entrante y devuelve un descriptor de archivo que se puede utilizar para leer y escribir.

Las cuatro primitivas anteriores se ejecutan en ese orden del lado del servidor, ahora para el lado del cliente tenemos las siguientes primitivas.

- ✘ *SOCKET*. Al igual que en el servidor crea un punto terminal y especifican el formato de direccionamiento que se utilizará, el tipo de servicio deseado y el protocolo (TCP o UDP).
- ✘ *CONNECT*. Con esta primitiva se establece una conexión del cliente con el servidor.
- ✘ *READ* y *WRITE*. Estas primitivas se usan para transmitir y recibir datos, a través de la conexión full-dúplex. Se ocupan tanto del lado del servidor como del cliente.
- ✘ *CLOSE*. Libera la conexión de los *sockets*.

Es importante mencionar que los *sockets* se pueden utilizar para otros servicios de transporte, por ejemplo el servicio de transporte sin conexión, DCCP (*Datagram Congestion Controlled Protocol*), versión UDP con control de congestión [17]. En este protocolo se ocupan las primitivas *SENDTO* y *RECEIVEFROM*, que proporcionan un flujo continuo de mensajes en vez de un flujo continuo de bytes.

Cada *socket*, tiene un número de dirección IP y un número de 16 bits denominado puerto, cada computadora tiene varios puertos a través de los cuales se comunica; los puertos son abstracciones del sistema [9]. Cuando se envía la información se debe de determinar el puerto de envío y recepción, es importante mencionar que un puerto no debe estar ejecutando dos tareas a la vez en la misma computadora.

Los números de puertos menores a 1024 están reservados para servicios, se les denomina puertos bien conocidos, en la tabla 3.7, se enlistan algunos. Los números de los puertos van desde el 0 al 65536, por lo tanto, una comunicación entre computadoras se puede realizar por medio de los puertos bien conocidos por una conexión remota vía Telnet por el puerto 23, o por un puerto que no esté reservado para una aplicación, es decir, se puede elegir el puerto 1030 para una comunicación entre computadoras.

Puerto	Nombre del servicio	Descripción
1	Tcpmux	Multiplexor de servicio de puertos TCP
21	ftp	Conexión ftp principal
23	telnet	Conexión telnet
25	Smtplib, mail	Correo UNIX
37	Time, timeserver	Servidor de hora
80	www, http	Servidor web

Tabla 3.7. Servicios asignados para TCP.

La comunicación que existe entre computadoras hace referencia a dos tipos de modelos *peer to peer* (P2P) y el modelo cliente/servidor.

En el modelo P2P, permite a los usuarios de la red tener un control sobre los recursos propios y sobre los recursos de los demás usuarios que pertenecen a la red, no existiendo clientes y servidores fijos, sino una serie de computadoras que funciona como usuarios y servidores [18].

Sus características son:

- ✘ La información está repartida entre las diferentes computadoras.
- ✘ La información es administrada por los usuarios de cada computadora.
- ✘ Todas las computadoras pueden realizar el mismo tipo de operaciones.

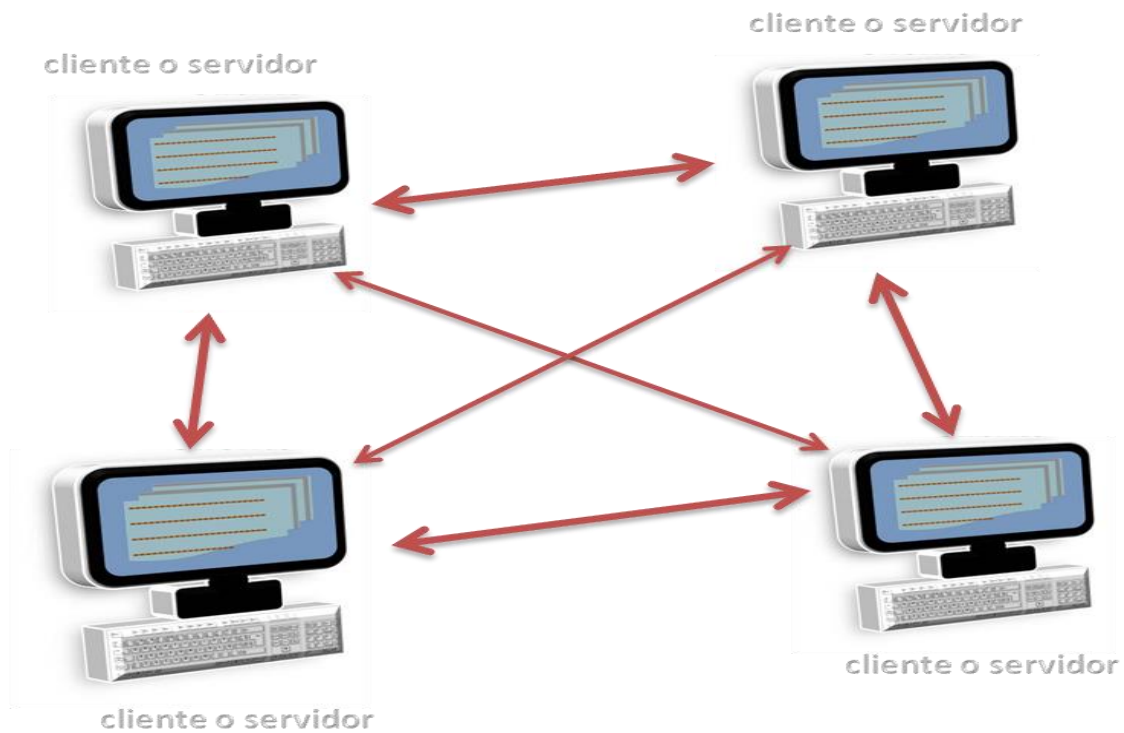


Figura 3.15. Arquitectura P2P.

Ahora, en el modelo cliente/servidor todos los recursos de red, como archivos, directorios, aplicaciones y recursos compartidos, se administran y alojan en ubicaciones centrales (servidores), que proveen recursos de red y después son accedidos por las computadoras clientes, que usan los recursos [19], en la figura 3.16 se muestra la arquitectura cliente/servidor.

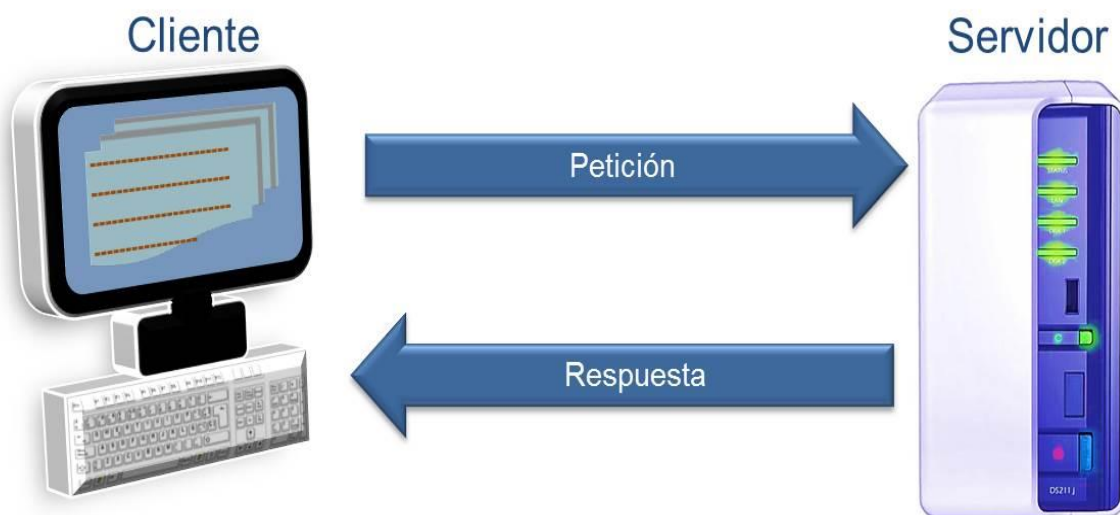


Figura 3.16. Arquitectura cliente/servidor.

Esta arquitectura presenta las siguientes características [20].

- ✘ Recursos compartidos: varios clientes pueden utilizar el mismo servidor.
- ✘ Transparencia de localización física de los servidores y clientes: el cliente no tiene que saber dónde se encuentran físicamente situados los recursos que desea utilizar.
- ✘ Independencia de la plataforma, hardware y software, empleada: cada cliente y servidor pueden tener diferente sistema operativo y una arquitectura hardware.
- ✘ Integridad: datos y programas centralizados en servicios facilitan su integridad y mantenimiento.

Algunos de los servicios que pueden ofrecer los servidores son: servidores *Web*, servidores de archivos FTP, servidores de bases de datos, el cliente realiza una consulta a una base de datos mediante el lenguaje estructurado SQL y el servidor devuelve el resultado de la consulta, servidores DNS (*Domain Name System*), servidores DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) y servidores de correo SMTP.

**Referencias.**

- [1] Date C. J. Introducción a los Sistemas de Bases de Datos, Prentice Hall, México, 2000.
- [2] Silberschatz, Korth, Sudarshan, Fundamentos de Bases de Datos, McGraw Hill, España, 2006.
- [3] Johnson James, Bases de Datos, Modelos, Lenguajes y Diseño, Oxford, México, 2000.
- [4] Pons Olga, Introducción a las Bases de Datos: El modelo relacional, Thomson, España, 2005.
- [5] Cuadra Dolores, Desarrollo de Base de Datos: casos prácticos desde el análisis a la implementación, AlfaOmega, España, 2008.
- [6] Ojeda Charte Francisco, SQL, Prentice Hall, México, 2000.
- [7] Moya Huidobro José, Administración de sistemas informáticos, Redes de Área Local, Thomson, España, 2006.
- [8] Goralsky Walter, *The illustrated network, how TCP/IP Works in a Modern Network*, Morgan Kaufmann, USA, 2008.
- [9] Márquez Fco. Manuel, Unix Programación Avanzada, AlfaOmega, 2004.
- [10] Baran Paul, "On Distributed Communications Network", IEEE, septiembre 1964.
- [11] Kozierok Charles, "The TCP/IP Guide", Morgan Koufmann, USA, 2005.
- [12] Romero Rivera Octavio, Redes Locales, Ediciones Nobel, España, 2010.
- [13] Tanenbaum Andrew S., Redes de computadoras, Pearson, México, 2012.
- [14] López Ángel, Protocolos de Internet Diseño e Implementación en Sistemas UNIX, AlfaOmega, México, 2000.
- [15] Jose Luis Raya, Redes Locales, AlfaOmega, México, 2003.
- [16] Labrose, Embedded Software, Newnes, USA, 2008.
- [17] Eddie Kohler, "Designing: DCCP: Congestion Control without Reliability", ICSI Center for Internet Research, marzo 2006.
- [18] Buford John y Yu Heather, *P2P Networking and Applications*, Morgan Kaufmann, USA, 2009.
- [19] Bruce A. Hollberg, Fundamentos de Redes, Mc GrawHill, México, 2003.
- [20] Lydia Parzale, TCP/IP Tutorial and Technical Overview, Redbooks, USA, 2006.



# Capítulo 4

## Diseño del sistema



#### 4.1. Motivación.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reportó que en México habitan 112,336,538 personas, de acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda 2010 [1]; de las cuales 10,055,379 son personas mayores de 60 años. El Distrito Federal cuenta con una población de 8,851,080 de los cuales 1,003,648 son personas mayores de 60 años [2], y se estima que en el año 2015 sean aproximadamente 1,164,564 y para el 2020 se incremente a 1,344,538 [3]. Lo anterior significa un impacto en el proceso de envejecimiento demográfico que se puede expresar como un incremento de la población de personas de la tercera edad o adultos mayores, de esta manera la Ley de los Derechos de las Personas Adultas Mayores publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de junio de 2002 [4], en su Título primero, artículo 3º, sección 1 establece: “Personas adultas mayores. Aquellas que cuenten con sesenta años de edad o más y que se encuentren domiciliadas o en tránsito en el territorio nacional”.

El envejecimiento de la población mexicana es uno de los mayores retos y problemas a los que se enfrenta la sociedad, debido a que son las personas más vulnerables a sufrir de alguna enfermedad; lo que implica una mayor demanda en los servicios de salud, este sector tiene la necesidad de mayor atención médica que el resto de la población, ya que al envejecer se tiende a padecer de males crónico-degenerativos, por ejemplo: problemas cardiovasculares, diabetes mellitus, problemas digestivos y respiratorios, problemas con discapacidad visual y/o auditiva, problemas motrices y algún tipo de demencia. Un tipo de padecimiento que afecta a los adultos mayores es el Alzheimer, y de acuerdo con la página de Alzheimer de México [5]: “La demencia tipo Alzheimer es una enfermedad progresiva, degenerativa e irreversible de la corteza cerebral que provoca el deterioro de la memoria, orientación, juicio, lenguaje, personalidad y conducta, interfiriendo con la capacidad para realizar las actividades de la vida diaria”.

Por tal motivo el Alzheimer provoca que las personas pierdan cierta autonomía al salir a la calle, ya que pueden extraviarse con facilidad al no recordar su domicilio. Información obtenida a través de LOCATEL indica que en el Distrito Federal se han reportado 62,433 personas extraviadas en el año 2010 [6], de los cuales 4,171 son personas de la tercera edad y 5,437 de las personas extraviadas cuentan con alguna discapacidad. La Ley para las Personas con Discapacidad del Distrito Federal [7] en su capítulo 1, artículo 2º, sección I define a las personas con discapacidad como: “Todo ser humano que presenta temporal o permanentemente una disminución en sus facultades físicas, intelectuales, o sensoriales que le limitan realizar una actividad normal”.

Como hemos mencionado al paso de los años el ser humano se enfrenta a la dificultad de realizar ciertas labores o actividades de vida cotidiana, por el hecho de padecer alguna

discapacidad o demencia como el Alzheimer. Estadísticas del INEGI [8] informan que la delegación Iztapalapa tiene el mayor índice de población con 1,815,786, y de los cuales 165,731 personas son adultas mayores, es equivalente al 9.2% de la población; y también estableció que de las personas mayores de 60 años aproximadamente 33,777 tienen algún tipo de discapacidad en dicha delegación. La profunda desigualdad en la distribución del ingreso e insuficiencias en la creación de empleos para adultos mayores ocasionan que estas personas se encuentren en condiciones de pobreza, por lo cual se deben de buscar soluciones para ayudar a las personas que se enfrentan a estos problemas y que padecen de ciertas discapacidades.

En la actualidad existen sistemas de localización de personas, vehículos o mascotas, pero estos sistemas representan un costo y en algunos casos requieren el pago de una mensualidad. Existen países que ya cuentan con este tipo de servicio de localización para personas, por ejemplo en España el SIMAP (Sistema de Monitorización de Alertas Personales) ofrece un servicio localización para personas que padecen de Alzheimer [9]. El grupo DECA en México [10], ofrece sistema de localización de flotillas, las empresas LAIPAC [11] y KERUVE [12] ofrecen un sistema de localizador personal por medio de la red de telefonía móvil y además las empresas Telcel [13] e Iusacell [14] ofrecen un servicio de localización pero es necesario contar con el equipo adecuado y tener un plan contratado. Revisando costos de equipos, planes y pagos de la primera mensualidad de los equipos mencionados, podemos calcular el precio que debe pagar un usuario si quiere contratar este servicio y que asciende a 4,500 pesos aproximadamente.

Como acabamos de mencionar existen varias empresas que ya ofrecen un tipo de servicio de localización, pero todas ellas necesitan de un plan de contratación y pagar una renta o mensualidad. En este orden de ideas, esto nos motiva a desarrollar un sistema que permita localizar a personas de la tercera edad o con algún tipo de discapacidad a un costo accesible a las personas de bajos recursos o de ser posible subsidiado por el Gobierno del Distrito Federal, específicamente nos enfocamos en la delegación Iztapalapa, por las razones expuestas anteriormente.

#### **4.2. Necesidades y características del sistema.**

Como hemos visto, en la sección anterior, la vejez trae con ella problemas motrices y de salud para el ser humano, limitando su calidad de vida y la de sus familiares; pero no solo los adultos mayores, las personas discapacitadas podrían padecer este tipo de situaciones. Este proyecto surge como un apoyo para este sector de la población, de escasos recursos económicos, cuya situación de vida sea alguna de las descritas con anterioridad. También, tiene la finalidad de

que estas personas puedan recuperar un poco de su autonomía al sentirse con mayor confianza al salir de sus hogares o trabajos y así lograr que los familiares y amigos se sientan más tranquilos cuando dichas personas salgan y se encuentren realizando sus actividades cotidianas, ya que no necesitaran estar al pendiente de ellas todo el tiempo, y esto a su vez reduciría el índice de extravíos.

Este sistema de apoyo, es un sistema de localización parecido a los que se encuentran en el mercado, pero con características específicas y propias, que los sistemas comerciales no tienen.

El sistema que se propone cuenta con dos elementos, un Dispositivo Móvil Localizador (DML) y un Centro de Asistencia Local (CAL)<sup>6</sup>, como se puede ver en la figura 4.1.

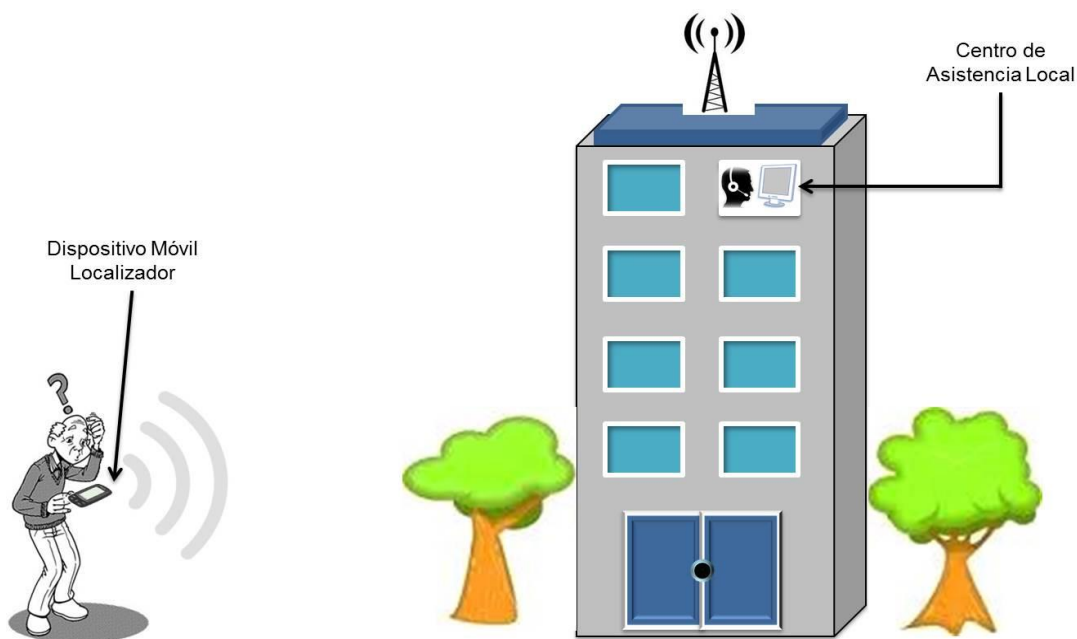


Figura 4.1. Sistema de localización.

Como ya mencionamos el sistema cuenta con un DML, el cual tiene las siguientes características:

- ✘ Compacto y portable. Debe cumplir con estas características para su fácil manejo y movilidad.
- ✘ Inalámbrico. Debe ser inalámbrico para que el usuario pueda realizar sus actividades cotidianas.
- ✘ Bajo costo. No debe ser un dispositivo caro ya que está pensado para personas de escasos recursos.
- ✘ Pila de alimentación y de respaldo.

<sup>6</sup> De aquí en adelante llamaremos DML al Dispositivo Móvil Localizador y CAL al Centro de Asistencial Local.

- ✘ Sistema de carga para la pila de alimentación.
- ✘ Deberá tener un identificador de usuario.
- ✘ Las acciones que se ejecutan en el DML deben de ser intuitivas.

Y realiza las siguientes funciones:

- ✘ Recibir las señales emitidas por los satélites.
- ✘ Procesar y manipular las señales.
- ✘ Botón de emergencia. Cuando se activa envía la información del portador.
- ✘ Enviar la señal procesada de forma inalámbrica al CAL.

También podemos observar en la figura 4.1 que el sistema cuenta con un CAL, y sus características son:

- ✘ Sencilla. Debe ser de fácil uso para el usuario.
- ✘ Clara. La información debe ser fácilmente localizable.
- ✘ Flexible. Debemos pensar siempre en opciones (botones) que nos permita regresar a la página principal, donde se ejecutan las funciones principales.
- ✘ Implementación en software libre para reducir costos.

Y las funciones que debe realizar el CAL son:

- ✘ Recibir la señal inalámbrica.
- ✘ Interpretar los datos recibidos.
- ✘ Mostrar la información del usuario que cuente con el DML.
- ✘ Mostrar la ubicación del usuario en un mapa.
- ✘ Debe generar reportes de los usuarios, para tener un control de las personas que emitieron un mensaje de auxilio.
- ✘ Debe de realizar consultas de las personas que estén registradas en el sistema.
- ✘ Avisar al administrador del CAL cuando se haya recibido un mensaje de auxilio.

### 4.3. Funcionamiento del sistema.

A continuación damos una descripción del funcionamiento que debe realizar el sistema, en la figura 4.2 podemos observar que los satélites transmiten señales que contienen la información necesaria, para determinar la ubicación de un receptor sobre la superficie terrestre, dicha información se recibe en un Dispositivo Móvil Localizador, este DML tendrá un botón de emergencia que podrá activar el portador y de esta manera mandará de forma inalámbrica un mensaje de auxilio hasta un Centro de Asistencia Local. El mensaje debe contener un identificador de usuario, sus coordenadas y la hora.



Figura 4.2. Funcionamiento del sistema.

El CAL deberá advertir al administrador por medio de un botón de alerta cuando ha llegado un mensaje de auxilio, además mostrará la ubicación en un mapa y la información del portador del DML. El administrador deberá seguir un protocolo previamente establecido en donde se especifiquen las acciones que tomará al recibir el mensaje, como pueden ser:

- ✘ Llamar a una ambulancia.
- ✘ Avisar a los familiares del usuario.
- ✘ Solicitar el apoyo de la policía.

#### 4.4. Análisis de las tecnologías inalámbricas a utilizar.

Una vez establecidas las necesidades y características del sistema, procedemos a seleccionar las tecnologías y componentes que se emplearán para el desarrollo de éste.

La comunicación entre el DML y el CAL debe ser inalámbrica. Hoy en día contamos con una variedad de tecnologías inalámbricas que pueden servir para el sistema. Sin embargo, el proyecto tiene la finalidad de servir a personas de escasos recursos, razón por la que nos enfocaremos en tecnologías cuyo costo sea bajo.

Podríamos usar una red de telefonía celular (GSM, GPRS O UMTS) para la elaboración de este proyecto, debido a la gran cobertura que tiene ocupando ésta tecnología, pero representa grandes costos, ya que funciona en una banda con licencia, además se debe contar con una tarjeta SIM (*Subscriber Identity Module*), se requiere pagar una renta mensual por el servicio, tener saldo en el dispositivo, contratar una línea y comprar un dispositivo de telefonía móvil,

estas características se contraponen a un rubro importante que es la ser un dispositivo para personas de escasos recursos.

Otra tecnología que se podría ocupar, es la red basada en WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), esta tecnología también opera en las bandas con licencia, su principal desventaja es que no tiene suficiente desarrollo tecnológico debido a que es una tecnología relativamente nueva, por lo que no cuenta con una amplia infraestructura, los pocos dispositivos en el mercado son caros, por lo tanto no es una opción para el desarrollo del proyecto.

Por último, la tecnología WiFi, está basada en el estándar IEEE802.11 lo que implica que se desempeña en las bandas de frecuencia de uso libre, es una tecnología altamente trabajada, cuenta con una amplia variedad de dispositivos en el mercado, la rapidez y flexibilidad en la instalación de una red, hace más fácil su implementación en comparación con las otras tecnologías, también permite la interoperabilidad para trabajar con productos de diferentes fabricantes, todas estas características se ven reflejadas en el bajo costo, lo cual hacen de ella la mejor opción para el desarrollo de este proyecto.

#### 4.5. Selección de elementos para el Dispositivo Móvil Localizador.

De acuerdo con las funciones y características descritas anteriormente, la propuesta de diseño para el DML se muestra en la figura 4.3.

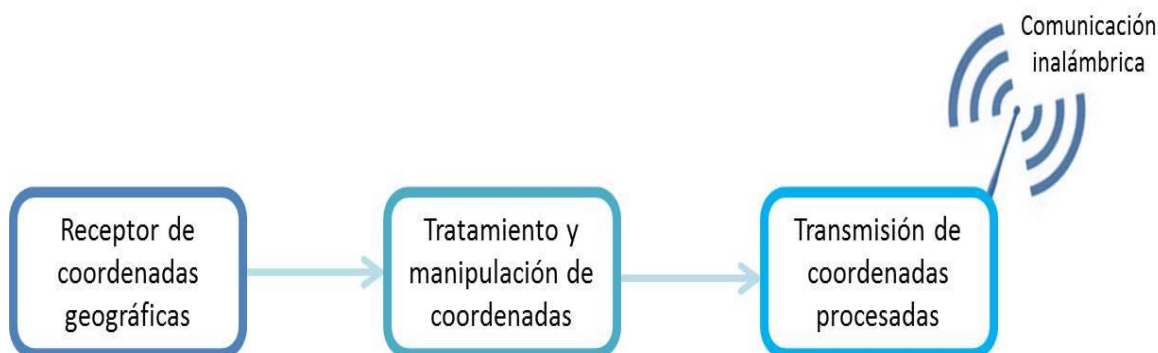


Figura 4.3. Diagrama de bloques del DML.

Utilizaremos el sistema GPS para obtener las coordenadas de ubicación, por lo que requerimos un receptor GPS. En el mercado, es posible encontrar una amplia variedad de receptores, realizaremos el análisis de los tres receptores que consideramos cubren nuestras necesidades, estos son: LINX-RXM-GPS-SR de LINX Technologies, LR9552 de LEADTEK y *GPS-Click* de MikroElektronika. Las características de cada uno se muestran en la tabla 4.1.




Características	LINX-RXM-GPS-SR	LR9552	GPS-CLICK
Frecuencia	L1 / 1575.42MHz	L1 / 1575.42MHz	L1 / 1575.42MHz
Núm. canales	20	20	50
Tiempo de inicio en frio	35seg	42seg	26seg
Sensibilidad de adquisición	-159dBm	-158dBm	-160dBm
Precisión	10m	<5m	4m
Alimentación	3 - 4.3V	3.3 - 5V	3.3 – 5V
Protocolo de comunicación	Serial	Serial/TTL	Serial
Precio (MxN)	\$680.00	\$457.00	\$657.00
Tipo de montaje	Sistema embebido de montaje superficial	Incluye conector para pruebas y aplicaciones	Sistema embebido de montaje superficial
Imagen			
Dimensiones	30 x 12 x 10mm	25 x 25 x 8.9mm	46 x 27 x 20mm

Tabla 4.1. Características de los receptores GPS.

Revisando las características de los tres módulos observamos que son muy parecidos, en cuanto a funcionalidad. Pero son tres parámetros los que nos interesan la exactitud, el tipo de montaje y el precio. Considerando esto, el módulo LR9552 [15], es el adecuado para cubrir nuestras necesidades; tiene una exactitud menor a 5m, este valor es suficiente para la localización de una persona; debido a que no tenemos las herramientas necesarias para soldar un dispositivo de montaje superficial seleccionamos el LR9552 ya que cuenta con un conector para realizar aplicaciones y pruebas; y por último el precio, aun cuando los tres son de características similares este modelo es el más económico y de fácil adquisición.

De acuerdo con la figura 4.3, requerimos un dispositivo que reciba y procese la información generada por el módulo LR9552. Un dispositivo para estos fines es un microcontrolador, que es un circuito integrado constituido por bloques para formar un sistema embebido, es decir el microcontrolador es un chip y en su interior encontramos un CPU (*Central Processing Unit*), memoria, reloj, puertos de comunicación y módulos para periféricos de entrada/salida. Cada

uno de estos elementos cumple una función específica y permite al desarrollador un mejor control en los procesos del sistema.

Hoy en día contamos con una amplia gama de microcontroladores; las funciones y características del sistema indican que no es necesario un microcontrolador de uso específico, por lo que, analizaremos dos familias de amplia utilización: los microcontroladores PIC y los AVR. Los PIC son fabricados por la empresa Microchip, son de 8, 16 o 32 bits, cuentan con un CPU RISC [16] y memoria *Flash* para almacenamiento de los programas que se van a ejecutar. Por otro lado los AVR son fabricados por la compañía ATMEL y cuentan con las mismas características que los PIC, es decir, CPU RISC, memoria *Flash* y son de 8, 16 y 32 bits.

Los puertos de comunicación le permiten al microcontrolador tener comunicación bidireccional con otros dispositivos, por ejemplo el puerto RS-232 [17], USB, ISP e I2C. Los módulos periféricos de E/S permiten el intercambio de información de tipo digital o analógica, dentro de estos periféricos tenemos los puertos digitales E/S, los convertidores Analógico/Digital y Digital/Analógico, temporizadores, módulos PWM, cuentan con una unidad de memoria que sirve para almacenar datos, la memoria ROM (*Read Only Memory*) se utiliza para guardar permanentemente el programa que se está ejecutando, el tamaño del programa depende del tamaño de esta memoria; la memoria RAM (*Random Access Memory*) cuando se desconecta de la fuente de alimentación se pierden los datos que contenía dicha memoria, es usada para almacenar datos y resultados temporalmente durante el funcionamiento del microcontrolador, y la memoria EEPROM (*Electrically Erasable Programmable ROM*), en este tipo de memoria los datos se quedan permanentemente guardados aún después de que se desconecte de la fuente de alimentación, pero su contenido puede cambiar dependiendo del funcionamiento del microcontrolador.

La empresa MikroElektronika [18], ofrece herramientas de desarrollo bastante completas y un precio accesible. En particular nos interesa la tarjeta EASYPIC6, figura 4.4, la cual es capaz de trabajar con Microcontroladores PIC de 8, 14, 18, 20, 28 y 40 pines, y se pueden realizar distintos proyectos gracias a todos los módulos periféricos que vienen incluidos, su programación se lleva a cabo mediante el puerto USB, cuenta con puerto de comunicación RS-232, un termómetro digital, 2 potenciómetros, 36 LEDs usados como indicadores lógicos, una pantalla LCD de 2 x 16 caracteres, un puerto de comunicación USB, un conector PS2, conexión para una pantalla *touch screen*, un puerto expandible para tener más señales de salida o de entrada, un teclado de 4 x 4 para entrada de datos numéricos y un cristal de cuarzo para regular las entradas de los pines de entrada/salida, 36 *push buttons* que son usados para manipular las entradas digitales y se encuentran conectados a los pines del microcontrolador.

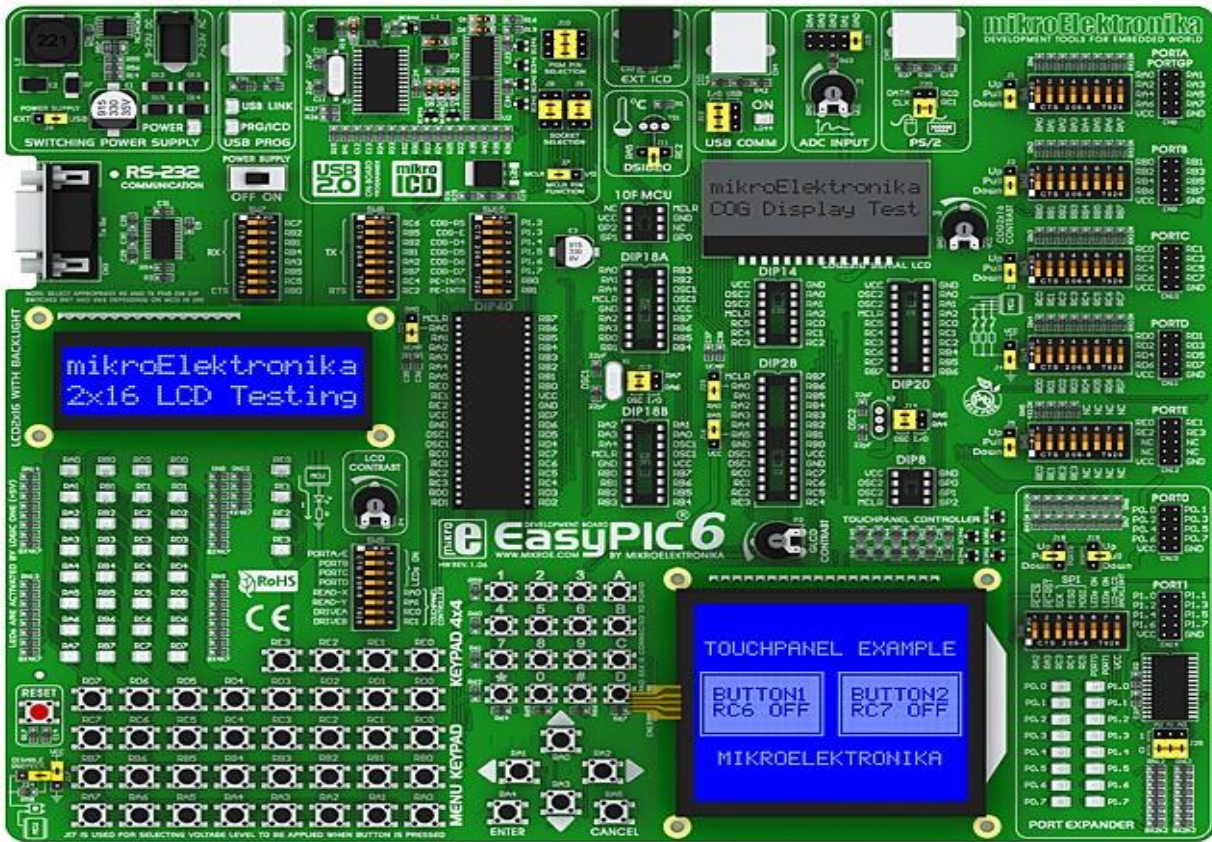


Figura 4.4. Tarjeta de desarrollo EASYPIC6.

También se revisaron las opciones de la empresa Microchip la cual ofrece una tarjeta de desarrollo bastante completa que trabaja con una amplia variedad de microcontroladores de la misma empresa, una ventaja que nos parece importante destacar de esta herramienta, es que cuenta con un software que permite desarrollar programas en un lenguaje de alto nivel, como lo es el lenguaje C. Esto representa una ventaja para el programador ya que no se requiere programar en lenguaje ensamblador.

Las funciones que debe realizar el microcontrolador, hacia el lado del módulo GPS son:

- ✘ Recibir la información por el puerto de comunicación serial.
- ✘ Discriminar de las cinco sentencias (GPGGA, GPGSA, GPGSV, GPRMC y GPVTG) para obtener solo la de nuestro interés que es la GPRMC.
- ✘ Separar de la trama GPRMC, las coordenadas geográficas, la hora y la fecha.

De acuerdo con lo anterior el Microcontrolador PIC16F887, es suficiente para nuestros fines. En la tabla 4.2 se resumen de forma breve las características de este microcontrolador y en la figura 4.5 se observa el diagrama de pines.

PIC16F887
Arquitectura RISC
35 Instrucciones
Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo de reloj, excepto por las de ramificación
Frecuencia de operación de 0-20MHz
Oscilador interno de alta precisión <ul style="list-style-type: none"> <li>Rango de frecuencia de 8MHz a 31KHz seleccionado por software.</li> </ul>
Voltaje de la fuente de alimentación de 2.0V a 5.5V
35 pines de entrada/salida
Memoria ROM de 8K con tecnología <i>Flash</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>El chip se puede re-programar hasta 100,00 veces</li> </ul>
Memoria RAM de 368 bytes.
256 bytes de memoria EEPROM <ul style="list-style-type: none"> <li>Los datos se pueden grabar más de 1,000,000 de veces.</li> </ul>
Convertidor analógico/digital: <ul style="list-style-type: none"> <li>14 canales</li> <li>Resolución de 10 bits</li> </ul>
3 Temporizadores/contadores independientes <ul style="list-style-type: none"> <li>Timer 0</li> <li>Timer 1</li> <li>Timer 2</li> </ul>
Temporizador perro guardián
Módulo PWM de 10 bits de resolución
Módulo USART mejorado <ul style="list-style-type: none"> <li>Soporta las comunicaciones seriales RS-485, RS-232 y LIN2.0</li> <li>Auto detección de baudios</li> </ul>
Puerto Serie Síncrono Maestro (MSSP) <ul style="list-style-type: none"> <li>Soporta los modos SPI e I2C</li> </ul>
5 puertos paralelos de entrada/salida <ul style="list-style-type: none"> <li>PORTA 8 entradas/salidas</li> <li>PORTB 8 entradas/salidas</li> <li>PORTC 8 entradas/salidas</li> <li>PORTD 8 entradas/salidas</li> <li>PORTE 4 entradas/salidas</li> </ul>

Tabla 4.2. Características del PIC16F887.

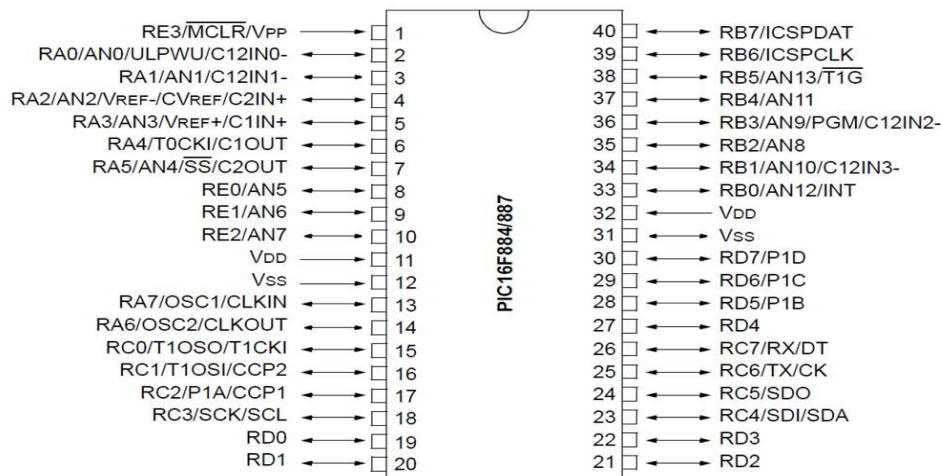


Figura 4.5. Distribución de pines del PIC16F887.

En secciones anteriores se han expuesto las razones por las que utilizaremos una red WLAN basada en el estándar IEEE802.11 para el desarrollo del sistema. Debemos seleccionar un módulo embebido de ese estándar. Nuevamente, contamos con una amplia gama, realizaremos una comparación de tres módulos para determinar cuál es el que nos ofrece las mejores prestaciones; los dispositivos son: el MT810SWM-IP de Multitech Systems [19], RCM5400W de Digi International Inc [20]. Y SN8200 de muRata [21]. Y sus características se presentan en la tabla 4.3.

Características de los módulos inalámbricos	MT810SWM-IP	RCM5400W	SN8200
Estándar IEEE	802.11 b/g	802.11 b/g	802.11 b/g/n
Frecuencia	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
Velocidad de transmisión	11Mbps	11Mbps	11Mbps
Potencia de transmisión	15dBm	15dBm	18dBm
Alimentación	5V	3.3V	3.3V
Seguridad	WEP, WPA Y WPA2	WPA Y WPA2	WPA Y WPA2 PSK
Sensibilidad	-82dBm		-96dBm
Precio (MxN)	\$1037.00	\$1565.00	\$540

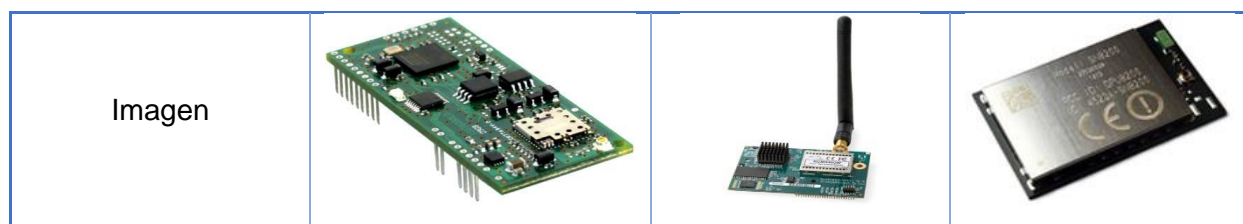


Tabla 4.3. Características de los módulos inalámbricos.

Generalmente este tipo de módulos vienen acompañados de una tarjeta de evaluación para su configuración y para realizar pruebas de funcionamiento, las tarjetas de evaluación son: MT/KIT3 de AG Electrónica [22], para el módulo MT810SWM-IP; RCM5400W de Digi International Inc. [20], para el módulo RCM5400W y el sistema muRata SN8200-EVK [23], para el módulo SN8200. En la tabla 4.4 mostramos las características de cada uno de ellos.

Características de la tarjeta de desarrollo	MT/KIT3	RCM5400W	SN8200 EVK
Alimentación	7 – 12V	12V	3.6V
Comunicación	Serial	USB	Mini USB
Dispositivos que soporta	Módulo-Modem Dial-UP, Módulo-Ethernet, Módulo- <i>Wireless</i> WiFi, Módulo- <i>Wireless</i> Bluetooth y Módulo- <i>Wireless</i> GSM/GPRS	Módulo- <i>Wireless</i> WiFi RCM54500W y Módulo- <i>Wireless</i> WiFi RCM5450W	Módulo- <i>Wireless</i> WiFi SN8200
Precio (MxN)	\$1682.00	\$3932.00	\$3511.00

Tabla 4.4. Características de las tarjetas de evaluación WiFi.

Al revisar las características de los diferentes módulos y tarjetas de evaluación podemos elegir uno de ellos, en este caso escogimos el MT/KIT3 con el Módulo-*Wireless* MT810SWM-IP debido a que tiene la ventaja de que soporta una variedad de módulos de diferentes tecnologías: telefonía fija, telefonía móvil, Ethernet y Bluetooth. Además es el módulo embebido más económico.

De acuerdo con las características del módulo WiFi seleccionado, observamos que el Microcontrolador PIC16F887 también se utilizará para gestionar el envío de información hacia el módulo WiFi. Las funciones que debe realizar son las siguientes:

- ✘ Activar el módulo WiFi.
- ✘ Enviar la información que obtuvo del módulo GPS, (coordenadas geográficas, hora y fecha).
- ✘ Transmitir el identificador de usuario.

En la figura 4.6 mostramos un diagrama de cómo queda constituido el DML.

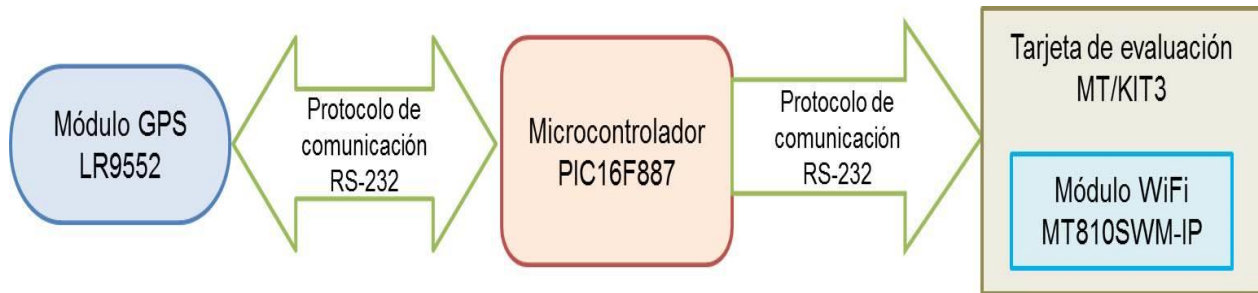


Figura 4.6. Elementos que constituyen el DML.

#### 4.6. Selección de elementos para el Centro de Asistencia Local.

En la actualidad existen principalmente tres sistemas operativos: Windows, MAC OS y Linux. La desventaja de los dos primeros sistemas operativos es que requieren de una licencia e implica un costo, son sistemas cerrados que impiden la manipulación de ciertas directrices. Linux está basado en UNIX que se ha desarrollado durante 35 años [24], una de las características técnicas que tiene este sistema es que prolonga la vida útil de cualquier hardware, esto se debe a que siempre encontraremos una distribución de GNU/Linux [25], que estará optimizada para la computadora que estamos ocupando. Otra característica es el bajo recurso que las distribuciones consumen, ya que no ocupan tanta memoria y espacio en el disco duro. Linux es un sistema operativo de código libre y por lo tanto no hay que pagar licencias, y es desarrollado por millones de usuarios alrededor del mundo. El beneficio de ocupar código abierto es la independencia tecnológica, el hecho de disponer del programa para adaptarlo, modificarlo, mejorarlo y actualizarlo es una de las ventajas que dispone este sistema.

Cuenta con una amplia variedad de aplicaciones libres como:

- ✘ Navegadores *web*: Firefox y Opera.
- ✘ Aplicaciones de servidor: CUPS (*Common UNIX Printing System*) servidor de impresión, Samba servidor de archivos, Postfix servidor de correo electrónico y Apache servidor *web*.
- ✘ Servidores de bases de datos como MySQL.
- ✘ Funciona con la mayoría de los lenguajes de programación PHP, JavaScript, HTML (*Hipertext Markup Language*), CSS, C y C++.

Como acabamos de mencionar Linux trabaja con aplicaciones de servidor y el CAL, de nuestro proyecto requiere un servidor *web* donde se almacenaran los archivos, su funcionamiento se basa en la comunicación cliente/servidor con en el protocolo HTTP (*hipertext Transfer Protocol*) para la interpretación de los programas en un navegador. Apache es uno de los servidores *web* más usados en sistemas Linux, básicamente por tres motivos: es de licencia libre, es robusto y

fácil de manejar. Apache se instala en casi todas las plataformas disponibles, y más del 50% de los servidores de la red utilizan Apache, según una encuesta realizada por *Netcraft* en junio de 2014 [26]. La simplicidad del servidor Apache radica en que no dispone de una interfaz gráfica y su configuración solo requiere de pequeñas modificaciones en tres archivos de texto plano que se pueden utilizar para cambiar los parámetros del servidor.

De acuerdo con las características y funciones descritas en la sección 4.2, la propuesta de diseño para el CAL se muestra en la figura 4.7.

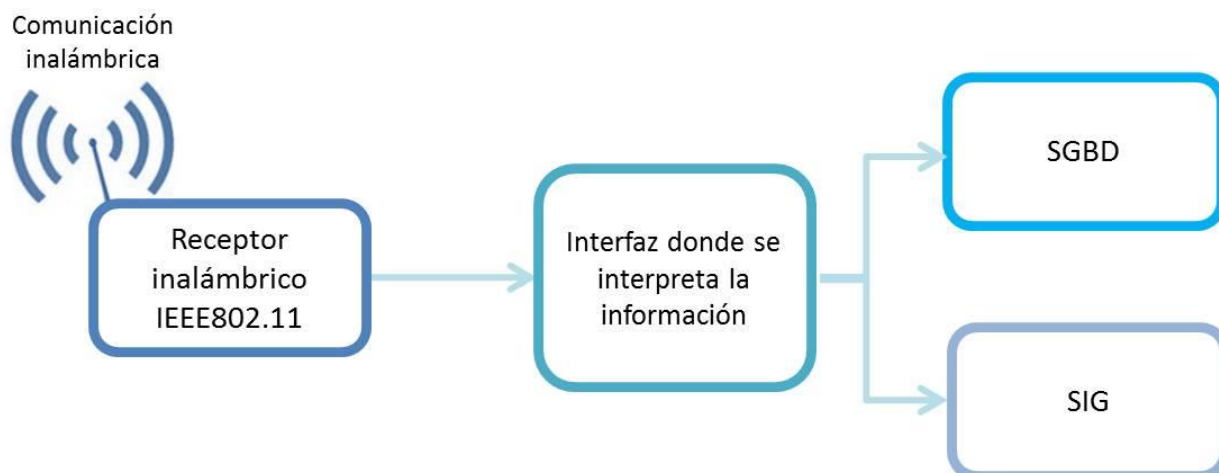


Figura 4.7. Diagrama de bloques del CAL.

Como podemos observar, necesitamos de un receptor inalámbrico del estándar IEEE802.11, y nuestro CAL tiene integrada una tarjeta de red inalámbrica que cumple con el estándar.

El CAL debe contar con la información de los usuarios, por lo que es necesario desarrollar una SGBD (figura 4.7) donde se encuentre almacenada la información de las personas afiliadas al sistema que cuenten con un DML. En la actualidad existen diferentes gestores de base de datos, por ejemplo, MySQL, PostgreSQL, Microsoft SQL Server y ORACLE, a continuación se presenta una descripción de estos gestores de base de datos.

PostgreSQL [27]. SGBD orientado a objetos de licencia libre. Maneja transacciones, integridad referencial, vistas y diversas funcionalidades. PostgreSQL se basa en el modelo cliente/servidor, su estabilidad, potencia, robustez y facilidad de manejo son las características con las que cuenta; almacena diferentes tipos de datos geométricos, cadenas binarias, matrices y datos definidos por el usuario. Además soporta el almacenamiento de objetos grandes como: gráficos, videos y sonidos. PostgreSQL soporta las APIs para programar en C/C++, Java, Perl, *Python*, *Ruby* y PHP.

Microsoft SQL Server [28]. SGBD con licencia, solo trabaja en la plataforma Windows, las características con que cuenta este sistema son: una maquinaria de búsqueda de textos

completos que permite localizar información a lo largo de una tabla, tiene la posibilidad de ejecutar consultas en paralelo y distribuidas. SQL Server puede ser usado para soluciones OLTP (*OnLine Transaction Processing*).

Oracle [29]. Ofrece una forma sencilla, confiable y accesible de implementar y administrar base de datos de alta disponibilidad. Oracle tiene la ventaja de trabajar con diferentes plataformas como Windows, Linux y OS/2. Sus características principales son: fácil de manejar, y escalabilidad que reside en tablas particionadas, que son aquellas que pueden dividirse en múltiples dispositivos de almacenamiento y rendimiento. Se basa en el modelo cliente/servidor con una ejecución multihilo<sup>7</sup> y una optimización independiente de la sintaxis SQL y al ser un software con licencia es necesario el pago de ésta.

MySQL. Es la base de datos más popular de todas, incluida en casi todas las distribuciones Linux, disponible para todos los sistemas operativos. MySQL es conocida por su velocidad y bajo consumo de recursos. Es un SGBD fácil de instalar y administrar, de licencia libre y es *open source* lo que significa que cualquier usuario lo puede modificar, es decir, puede estudiar el código fuente y cambiarlo para adaptarlo a sus necesidades, escrito en C y en C++, cuenta con soporte completo para las cláusulas SQL, APIs disponible en C/C++, Java, Perl, *Python*, *Ruby* y PHP. Es un sistema de privilegios y contraseñas que es muy flexible y seguro, y que permite la verificación basada en el *host*. Los clientes pueden conectarse con el servidor MySQL usando *sockets* TCP/IP en cualquier plataforma.

MySQL se basa en el modelo relacional, descrito en el capítulo 3. La parte SQL de "MySQL" se refiere a "*Structured Query Language*". SQL es el lenguaje estandarizado más común para acceder a bases de datos y está definido por el estándar ANSI/ISO SQL, [30]. El estándar SQL fue desarrollado en 1986 y desde entonces se han liberado nuevas versiones.

Es claro que no son los únicos SGBD, pero si los de mayor utilización. Después de hacer un análisis y valoración de estos sistemas, y considerando las necesidades y características de nuestro proyecto, concluimos que la mejor opción es MySQL debido a:

- ✘ Es de licencia libre y se puede utilizar en diferentes plataformas como Windows, OS y Linux.
- ✘ Su bajo consumo de recursos hace que pueda ser implementado en computadoras con tecnología no tan actual.
- ✘ SGBD con una gran facilidad de configuración e instalación.
- ✘ Sistema de autenticación basado en contraseñas.
- ✘ Velocidad en consultas en aplicaciones *web*.

<sup>7</sup> Multihilo. Permite que una aplicación ejecute varias tareas en paralelo.

Retomando, la figura 4.7 muestra los elementos que componen al CAL, ya tenemos la plataforma que es Linux y la SGBD que es MySQL, se requiere de una interfaz con la que se interpretará la información, para esto se ocupan lenguajes de programación como PHP o ASP (*Active Server Pages*), que permiten el acceso a la base de datos, figura 4.8. A continuación describimos los dos lenguajes de programación.

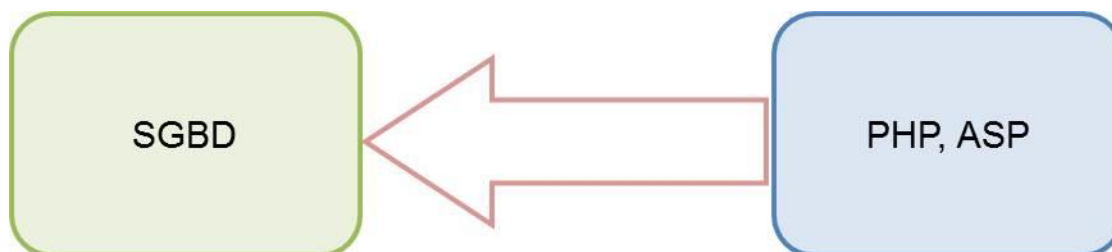


Figura 4.8. Lenguajes de programación que permiten el acceso a la base de datos.

PHP, *Hipertext Preprocessor* [31]. Es un lenguaje libre interpretado, diseñado para desarrollar sitios *web* donde los comandos pueden ser incluidos dentro de un código en HTML. Este tipo de programación no necesita ser compilada, y es ejecutada por el servidor *web* a través de un intérprete. Es un lenguaje multiplataforma que puede trabajar en la mayoría de los servidores *web*, por ejemplo Apache, y es capaz de interactuar con diferentes servidores de base de datos como MySQL y con otros servidores como son Oracle y Microsoft SQL Server.

ASP [32]. Es un lenguaje de programación creado por Microsoft, al igual que PHP se ejecuta en el servidor enviando solo al cliente el código HTML, funciona con la arquitectura COM (*Component Object Model*) especificación de programación orientada a objetos; una de las desventajas de este lenguaje de programación es que es privado, es decir, no es de licencia libre. Entre sus funciones principales están el acceso a base de datos, envío de correo electrónico y creación dinámica de gráficos.

Los factores que nos ayudaron a determinar el lenguaje de programación que vamos a utilizar son:

- ✘ Es de licencia libre y fácil de utilizar
- ✘ PHP es un excelente soporte de acceso al SGBD MySQL.
- ✘ PHP se puede utilizar en los principales sistemas operativos, y se puede utilizar en la mayoría de los servidores *web* por ejemplo, Apache.
- ✘ PHP soporta un amplio abanico de bases de datos, al escribir un programa con acceso a una base de datos se utiliza una de las extensiones de bases de datos (API).
- ✘ El conjunto de aplicaciones Apache-PHP-MySQL es uno de los más utilizados para desarrolladores y servicios en Internet.

- ✧ Con la ayuda de PHP se puede interpretar la comunicación entre el CAL y el DML, por medio de la programación en *sockets*.

El CAL recibirá la información del usuario por medio de una interfaz WiFi, de la información recibida un campo pertenece a las coordenadas de ubicación del usuario. Para presentar estas coordenadas por medio de un mapa es necesario hacerlo por medio de un SIG (Sistema de Información Geográfica), por ejemplo *Google Maps*, *Yahoo Maps*, *OpenStreetMap* o utilizar la cartografía para realizar nuestros propios mapas. Esta última opción tiene un costo elevado, por lo que no será considerada. A continuación presentamos una descripción de los sistemas de información geográficos, mencionados anteriormente.

*OpenStreetMap* [33]. Sistema de información geográfica libre, es un mapa que cualquier usuario puede modificar; por ejemplo si una tienda no aparece en el mapa, se puede añadir en él. *OpenStreetMap* utiliza software de código fuente libre y una hoja de estilo libre en la que el usuario puede crear sus propios mapas. Además el usuario puede descargar algunos o la totalidad del mapa de *OpenStreetMap* del mapa *offline*, esto significa que es posible utilizar los datos del SIG para navegar sin dar su ubicación.

*Yahoo Maps* [34]. Servicio gratuito para la visualización de mapas, donde la API de *Yahoo Maps* permite insertar mapas interactivos en las aplicaciones *web* mediante *Flash* y *Ajax*, además cuenta con diferentes APIs que se pueden utilizar para agregar contenido geográfico como, listados de locales, de tránsito e informes meteorológicos. Este sistema cuenta con mapas internacionales, mapas satelitales y mapas híbridos con los nombres del país y calles.

*Google Maps* [35]. Nace en el 2005, es un servicio gratuito donde podemos encontrar la cartografía completa de cualquier parte del mundo. Con la ayuda de este servicio o aplicación podemos establecer mapas desplegados e imágenes satelitales, que se pueden utilizar en plataformas como Windows, Linux y Mac OS.

Con la API de *Google Maps* podemos acceder a la información cartográfica, y poner un mapa en nuestro propio sitio *web*, mediante JavaScript. Las características con las que cuenta este SIG son: insertar una marca en la ubicación desplegada de acuerdo con las coordenadas geográficas, tiene la opción de acercamiento, cuenta con diferentes tipos de mapas: *G\_NORMAL\_MAP* (mapa por defecto, mapa normal con los nombres de las calles), *G\_SATELLITE\_MAP* (mapa con imágenes satelitales) y *G\_HIBRID\_MAP* (es una combinación de los mapas anteriores, sobre las imágenes satelitales se dibujan los

nombres de las calles).

De las SIG presentadas consideramos que la mejor opción es *Google Maps* debido a:

- ✘ La facilidad de ocupar la API de *Google Maps*.
- ✘ La cartografía con que cuenta *Google Maps*, está más actualizada que cualquier otro sistema cartográfico, sin ningún costo.
- ✘ El sistema es abierto y flexible, lo que permite la introducción de datos, modelos 3D o nuestra propia cartografía.
- ✘ Todos los datos están en la nube por lo que el acceso a ellos es rápido desde cualquier lugar.
- ✘ No requiere la instalación de ningún tipo de software adicional (basta con un navegador *web* que permita trabajar con *JavaScript*).
- ✘ Los datos son más seguros ya que la nube se encarga de cifrarlos y realizar copias de seguridad.
- ✘ Es el sistema de geolocalización más utilizado en el mundo, lo que hace que los usuarios creen nuevos desarrollos.
- ✘ Podemos acceder a los datos desde cualquier lugar y desde cualquier dispositivo (computadoras, teléfonos móviles y *tablets*).

En la figura 4.9 se muestra un diagrama de cómo queda constituido el CAL.

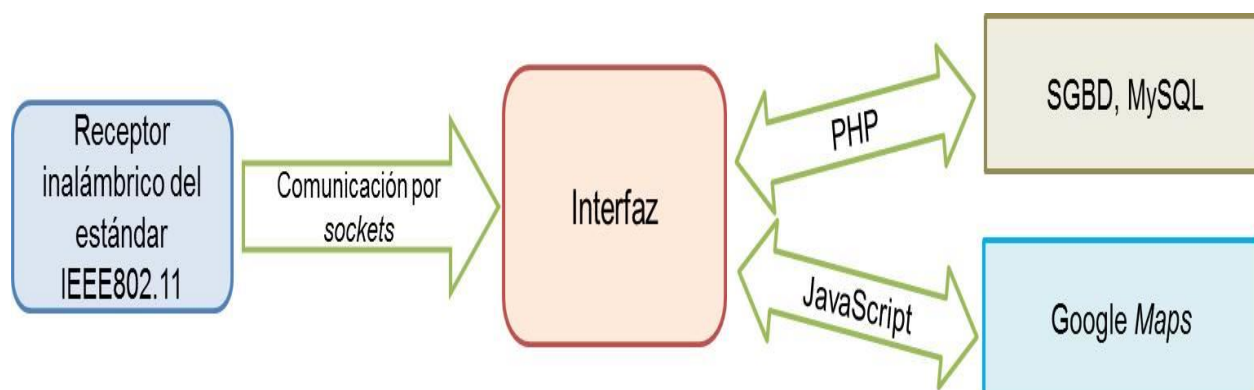


Figura 4.9. Elementos que constituyen el CAL.

#### 4.7. Propuesta de diseño.

En la figura 4.9, se muestra una propuesta de diseño del sistema y de los elementos que lo integran. Podemos observar que el diseño propuesto cumple con los elementos necesarios para cubrir las necesidades. Tenemos el DML y el CAL, que a su vez se componen de diversos bloques, donde cada uno cumple con las funciones requeridas.

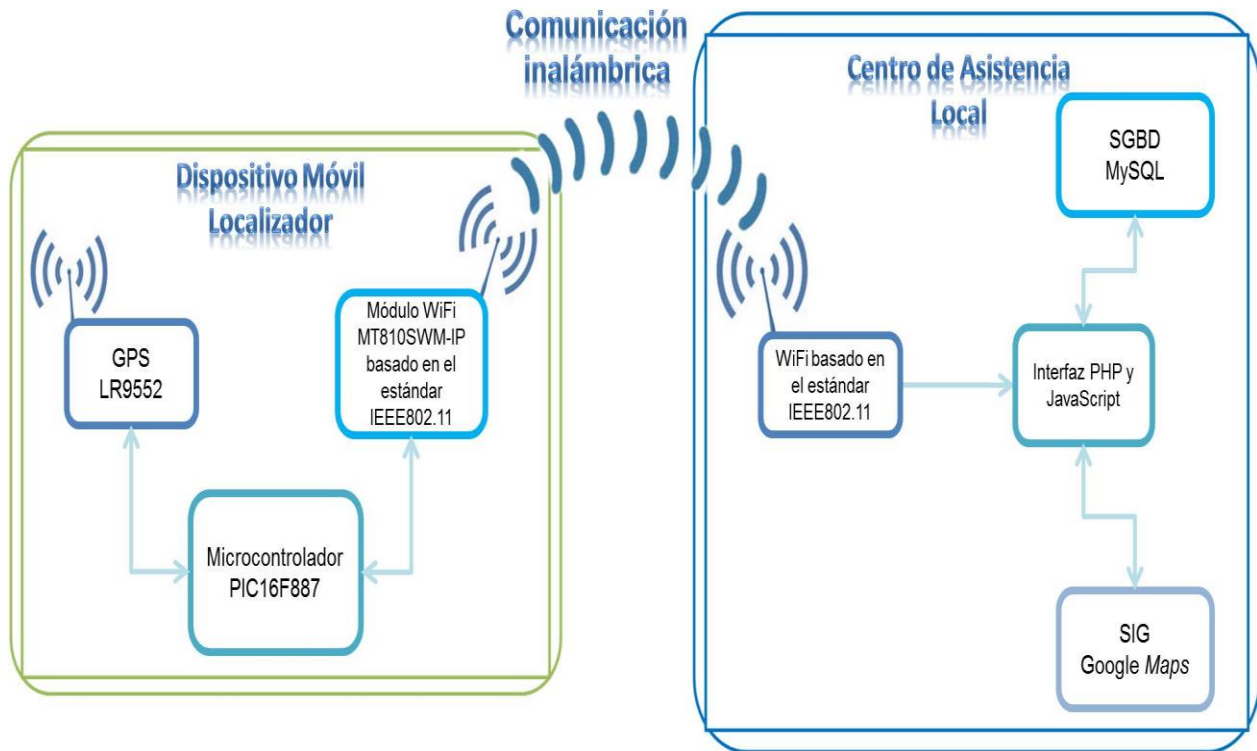


Figura 4.10. Propuesta de diseño del sistema de localización GPS vía una red WLAN.

**Referencias.**

- [1] [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx).
- [2] <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenido/espanol/prensa/contenido/estadisticas/2013/adultos0.pdf>
- [3] [http://www.conapoi.gob.mx/es/CONAPO/De\\_las\\_Entidades\\_Federativas\\_2010\\_2050](http://www.conapoi.gob.mx/es/CONAPO/De_las_Entidades_Federativas_2010_2050)
- [4] <http://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/pdf/245.pdf>
- [5] <http://www.alzheimer.org.mx/EIAlzheimer.aspx>.
- [6] [http://www.Locatel.DF.gob.mx/site/default/files/personas\\_extraviadas\\_ene\\_dic\\_10.pdf](http://www.Locatel.DF.gob.mx/site/default/files/personas_extraviadas_ene_dic_10.pdf)
- [7] [http://www.sideso.df.gob.mx/documentos/legislacion/ley\\_7.pdf](http://www.sideso.df.gob.mx/documentos/legislacion/ley_7.pdf)
- [8] <http://www.inegi.org.mx/sistemas/tabuladorbasicos/default.aspx?c=27302&s=est>.
- [9] [http://cruzrojamadrid.org/sala\\_de\\_prensa/noticias/simap\\_mostoles\\_2011/](http://cruzrojamadrid.org/sala_de_prensa/noticias/simap_mostoles_2011/)
- [10] <http://www.grupodeca.com.mx/>
- [11] <http://www.laipac.com/>
- [12] <http://www.keruve.com/>
- [13] [http://www.telcel.com/portal/servicios/servicios\\_gps.html](http://www.telcel.com/portal/servicios/servicios_gps.html)
- [14] <http://www.iusacell.com.mx/negocios/productos/localizacion.html>
- [15] <http://www.leadtek.com/eng/product/8/292/intro.aspx>
- [16] <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/products/picmicrocontrollers>
- [17] Spragins John D., *Telecommunications: Protocol and Design*, Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1991.
- [18] <http://www.mikroe.com/>
- [19] [http://www.multitech.com/en\\_US/](http://www.multitech.com/en_US/)
- [20] [http://www.digi.com/pdf/ds\\_rcm5400w.pdf](http://www.digi.com/pdf/ds_rcm5400w.pdf)
- [21] <http://wireless.murata.com/eng/sn8200.html>
- [22] <http://agelectronica.com/>
- [23] <http://wireless.murata.com/eng/sn8200-evk.html>
- [24] Arena Facundo Héctor, "202 secretos de LINUX", Ed. Banfield, México 2007.
- [25] <http://www.distribucioneslinux.com/>

[26] [www.netkraf.co.uk/](http://www.netkraf.co.uk/)

[27] <http://www.postgresql.org.es/>

[28] <http://www.microsoft.com/en-us/server-cloud/products/sql-server/>

[29] <http://www.oracle.com/lad/index.html>

[30] <http://www.inf.fu-berlin.de/lehre/SS05/19517-V/FolienEtc/sql-foundation-aug94.pdf>

[31] <https://php.net/>

[32] <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms972337.aspx>

[33] <https://www.openstreetmap.org/about>

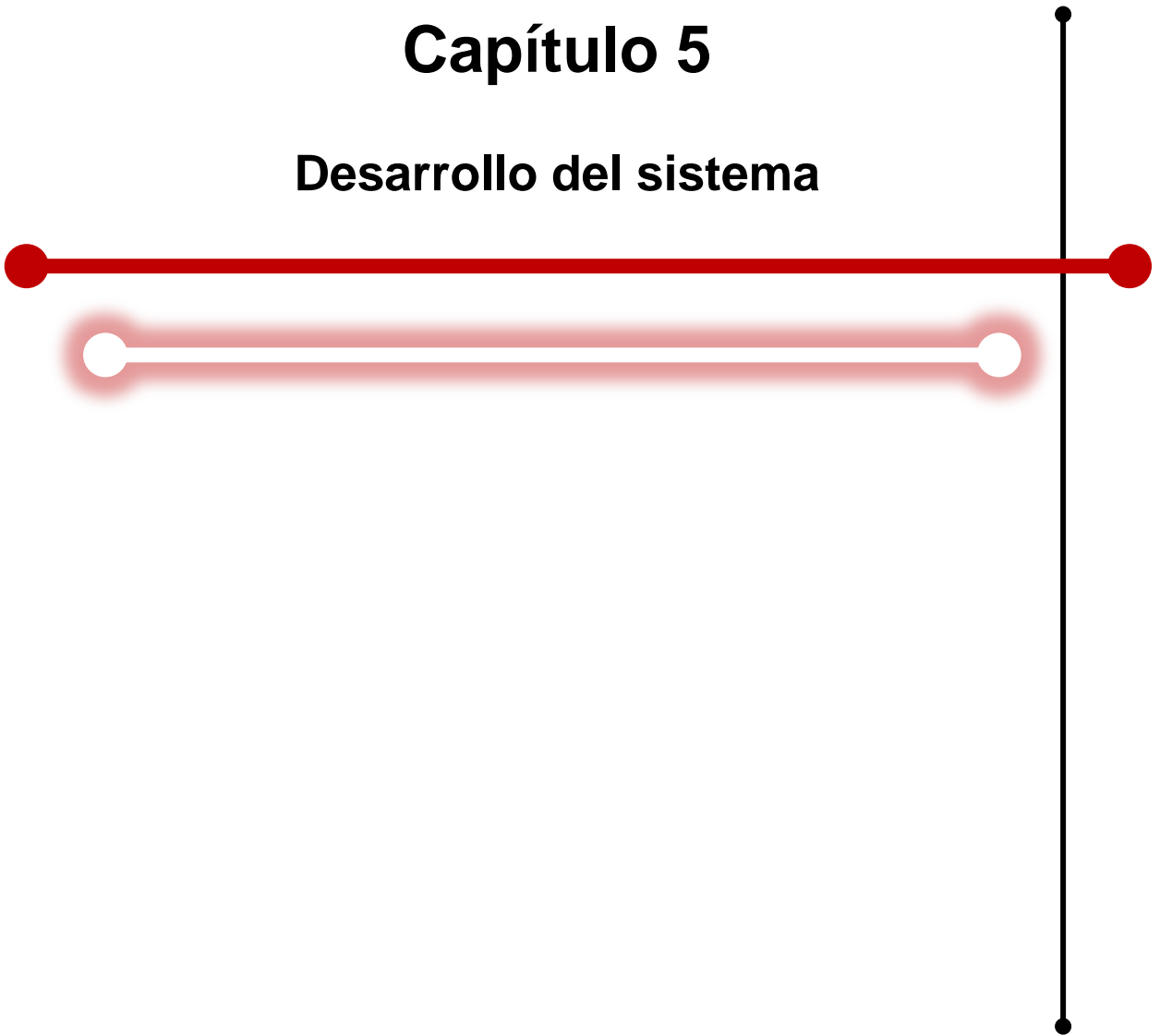
[34] <https://developer.yahoo.com/maps/>

[35] <https://developers.google.com/maps/?hl=es>



# Capítulo 5

## Desarrollo del sistema



### 5.1. Dispositivo Móvil Localizador.

En el capítulo anterior se analizaron los elementos para el DML. Uno de sus componentes es el módulo receptor GPS LR9552, que proporciona una exactitud menor a 5 metros, esta distancia es aceptable para nuestras necesidades, ya que además es un receptor compacto que cuenta con una antena integrada, ofrece 20 canales de comunicación con los satélites, el tiempo de arranque en frío es de 42 segundos, se alimenta con 5V y bajo consumo de energía. Gracias a su conector se adapta a cualquier sistema sin la necesidad de implementar otro hardware. Contiene un chip de alto rendimiento, SiRFStar III/LP, que es compatible con el software SiRFGSW3.2. Este software permite la configuración de parámetros del receptor a través de su interfaz de comunicación serial, estos parámetros son: configuración del puerto serial y la velocidad de transmisión, configuración del puerto para recibir correcciones mediante DGPS, control de salida de los mensajes NMEA y activación de información de mensajes o comandos inválidos.

Como observamos en la descripción del receptor GPS su forma de comunicación es con el protocolo serial, así que utilizaremos el software *hyperTerminal* y una computadora para la comunicación con el módulo.

De acuerdo con las hojas de especificaciones del módulo LR9552 [1] manda de forma constante los siguientes mensajes: GPGLA cada un segundo, GPGSA cada cinco segundos, GPGSV cada cinco segundos, GPRMC cada un segundo, GPVTG cada un segundo, pero es posible configurar para recibir en mensaje en particular.

Después de realizar un análisis detallado de los diferentes mensajes, consideramos que, para nuestros fines, el mensaje \$GPRMC contiene la información suficiente. El contenido del mensaje se describe en la figura 5.1 y tabla 5.1.

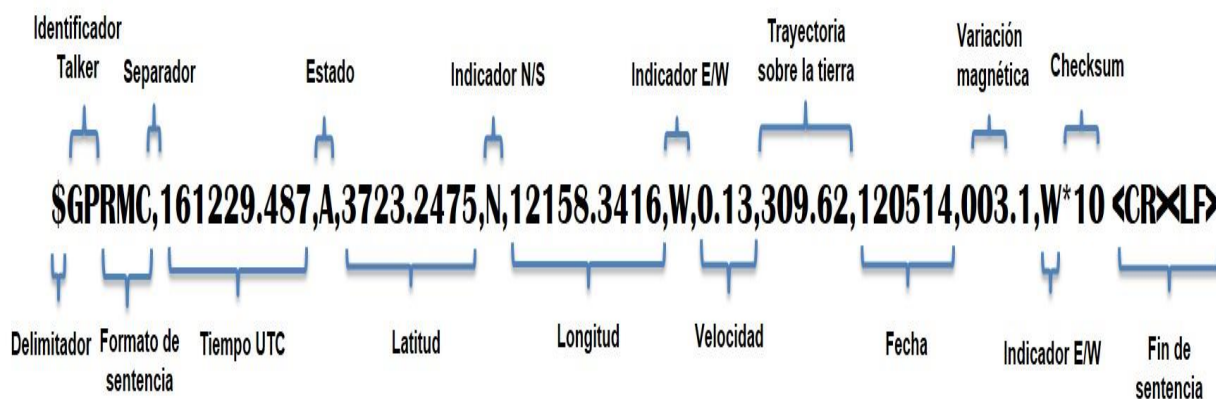


Figura 5.1. Mensaje \$GPRMC.

Nombre	Ejemplo	Descripción
Delimitador	\$	Indica el comienzo de una sentencia
Indicador <i>talker</i>	GP	Es un identificador establecido por el estándar NMEA0183 y significa <i>Global Positioning System</i>
Formato de sentencia	RMC	Son las especificaciones mínimas recomendadas para la ubicación de un usuario
separador	,	Sirve para separar los campos de información
Tiempo UTC	161229.487	hhmmss.sss corresponde a la hora del tiempo coordinado o UTC
Estado	A	A=datos válidos, V=datos no válidos D=modo diferencial. Se refiere al estado del receptor en cuanto a datos disponibles
Latitud	3723.2475	Esta dado en formato de grados y minutos decimales (DDMM.mmmm)
Indicador N/S	N	Proporciona el lugar geométrico del receptor GPS, N= <i>north</i> (norte) o S= <i>south</i> (sur)
Longitud	12158.3416	Esta dado en formato de grados y minutos decimales (DDMM.mmmm)
Indicador E/W	W	Proporciona el lugar geométrico del receptor GPS, E= <i>east</i> (este) o W= <i>west</i> (oeste)
Velocidad sobre tierra	0.13	Es la velocidad del receptor con respecto a la tierra que proporciona el GPS
Trayectoria sobre tierra	309.62	True (verdadero). En aeronáutica es el vector de corrección de rumbo debido al viento y se expresa en grados reales.
Fecha	120598	Indica la fecha exacta en el formato ddmmyy
Variación magnética		E= <i>east</i> (este) o W= <i>west</i> (oeste). Es la variación o declinación magnética en un punto de la tierra, es el ángulo comprendido entre el norte magnético local y el norte verdadero.
Indicador <i>East/West</i>	E	Proporciona el lugar geométrico de la variación magnética, E= <i>east</i>
<i>Checksum</i>	*10	Corresponde a la suma exclusiva lógica de todos los miembros de la sentencia excepto las comas, y sirve para verificar la existencia de un error en la sentencia generada por el GPS.
<CR><LF>		Retorno de carro y fin de línea indica el fin de mensaje.

Tabla 5.1. Contenido del mensaje \$GPRMC.

La conexión entre el módulo y la computadora es directamente, como lo muestra la figura 5.2. En esta figura también observamos los mensajes que el modulo envía a la computadora.

```
$GPGGA,171620.735,1921.4806,N,09900.0137,W,0.00,50.0,2257.8,M,-9.0,M,0.0,0.0000*7C<CR><LF>
$GPRMC,171620.735,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914,,,N*57<CR><LF>
$GPVTG,0.00,T,M,0.0,N,0.0,K,N*32<CR><LF>
$GPGGA,171621.735,1921.4806,N,09900.0137,W,0.00,50.0,2257.8,M,-9.0,M,0.0,0.0000*7D<CR><LF>
$GPRMC,171621.735,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914,,,N*56<CR><LF>
$GPVTG,0.00,T,M,0.0,N,0.0,K,N*32<CR><LF>
$GPGGA,171622.744,1921.4806,N,09900.0137,W,0.00,50.0,2257.8,M,-9.0,M,0.0,0.0000*78<CR><LF>
$GPRMC,171622.744,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914,,,N*53<CR><LF>
$GPVTG,0.00,T,M,0.0,N,0.0,K,N*32<CR><LF>
$GPGGA,171623.735,1921.4806,N,09900.0137,W,0.00,50.0,2257.8,M,-9.0,M,0.0,0.0000*7F<CR><LF>
$GPRMC,171623.735,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914,,,N*54<CR><LF>
$GPVTG,0.00,T,M,0.0,N,0.0,K,N*32<CR><LF>
$GPGGA,171624.735,1921.4806,N,09900.0137,W,0.00,50.0,2257.8,M,-9.0,M,0.0,0.0000*78<CR><LF>
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,50.0,50.0,50.0*05<CR><LF>
$GPGSV,3,1,12,06,70,198,,28,47,068,,17,44,007,,02,33,213,*7D<CR><LF>
$GPGSV,3,2,12,30,31,160,,04,27,040,,10,16,165,,26,15,235,*78<CR><LF>
$GPGSV,3,3,12,20,13,071,,24,11,319,,15,02,270,,07,02,153,*70<CR><LF>
$GPRMC,171624.735,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914,,,N*53<CR><LF>
```

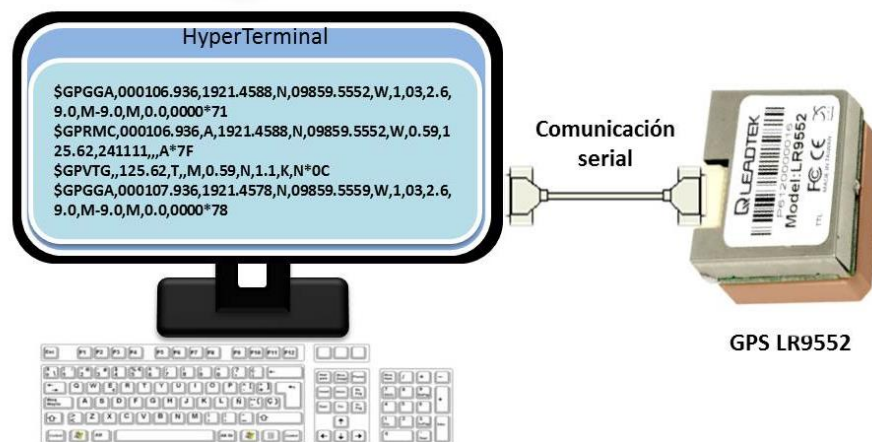


Figura 5.2. Mensajes NMEA que envía el receptor GPS LR9552.

Anteriormente mencionamos que solo nos interesa recibir el mensaje \$GPRMC. Debemos configurar el módulo para que únicamente envíe la trama con la información de este mensaje. Para esto enviamos desde la *hyperTerminal* de la computadora las siguientes líneas de comandos:

- ✘ \$PSRF103,00,00,00,01\*24, esta línea se encarga de deshabilitar el mensaje \$GPGGA.
- ✘ \$PSRF103,02,00,00,01\*26, esta línea se encarga de deshabilitar el mensaje \$GPGSA.
- ✘ \$PSRF103,03,00,00,01\*27, esta línea se encarga de deshabilitar el mensaje \$GPGSV.
- ✘ \$PSRF103,05,00,00,01\*21, esta línea se encarga de deshabilitar el mensaje \$GPVTG.
- ✘ \$PSRF103,04,00,00,01\*21, esta línea habilita el mensaje \$GPRMC.

De este modo garantizamos que el módulo GPS LR9552 únicamente enviará el mensaje \$GPRMC. En la figura 5.3 observamos la información recibida.

```

$GPRMC,172307.902,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*5E<CR><LF>
$GPRMC,172308.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*58<CR><LF>
$GPRMC,172309.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*59<CR><LF>
$GPRMC,172310.902,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*58<CR><LF>
$GPRMC,172311.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*50<CR><LF>
$GPRMC,172312.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*53<CR><LF>
$GPRMC,172313.902,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*5B<CR><LF>
$GPRMC,172314.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*55<CR><LF>
$GPRMC,172315.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*54<CR><LF>
$GPRMC,172316.902,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*5E<CR><LF>
$GPRMC,172317.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*56<CR><LF>
$GPRMC,172318.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*59<CR><LF>
$GPRMC,172319.902,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*51<CR><LF>
$GPRMC,172320.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*52<CR><LF>
$GPRMC,172321.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*53<CR><LF>
$GPRMC,172322.902,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*59<CR><LF>
$GPRMC,172323.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*51<CR><LF>
$GPRMC,172324.895,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*50<CR><LF>
$GPRMC,172325.904,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*58<CR><LF>
$GPRMC,172326.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*54<CR><LF>
$GPRMC,172327.895,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*53<CR><LF>
$GPRMC,172328.904,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*55<CR><LF>
$GPRMC,172329.917,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*56<CR><LF>
$GPRMC,172330.895,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*55<CR><LF>
$GPRMC,172331.904,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*5D<CR><LF>
$GPRMC,172332.893,V,1921.4806,N,09900.0137,W,0.0,0.00,090914.00,N*51<CR><LF>

```

Figura 5.3. Mensaje \$GPRMC enviado por el módulo LR9552.

Dadas las características del DML debe ser portable, por lo que utilizar una computadora es poco práctico. En el capítulo anterior se realizó un análisis de un par de familias de microcontroladores y seleccionamos el PIC16F887 de Microchip [2] y la tarjeta de desarrollo EASYPIC6 de MikroElektronika [3].

El módulo LR9552 utiliza el protocolo serial y el PIC16F887 cuenta con comunicación por puerto serial. Realizaremos la conexión entre el PIC16F887 y el módulo LR9552 por medio de la tarjeta de desarrollo EASYPIC6.

Para habilitar la comunicación serial del microcontrolador se procede de la siguiente manera, mediante el programa mikroC, seleccionamos la librería UART, al realizar esto el mismo programa configura los pines Tx (25) y RX (26) del PIC16F887, (ver figura 4.5 del capítulo 4), además con la línea de comando UART1\_Init (9600) configuramos la velocidad de transmisión a la que debe de trabajar. Esto es debido a que el módulo GPS LR9552 transmite a la misma velocidad.

La conexión se muestra en la figura 5.4. La tarjeta de desarrollo cuenta con un display de 2 x 16, es decir, se pueden visualizar 2 líneas de 12 caracteres, en la que se muestra el mensaje \$GPRMC.

## Tarjeta EASYPIC6

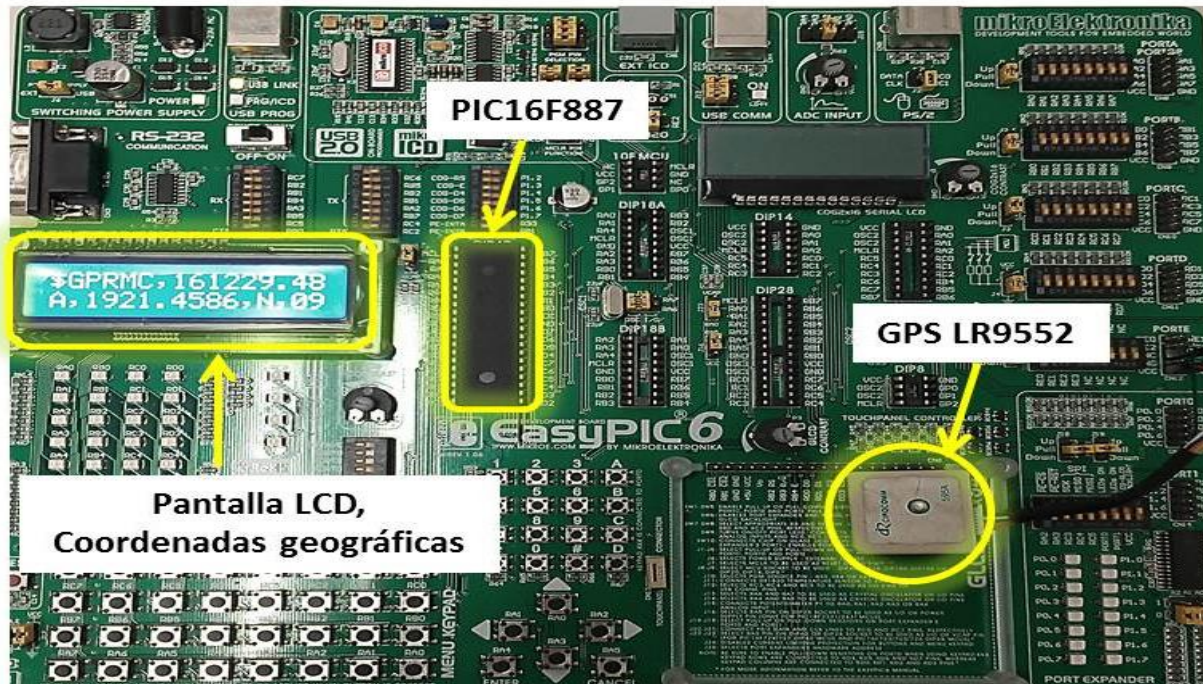
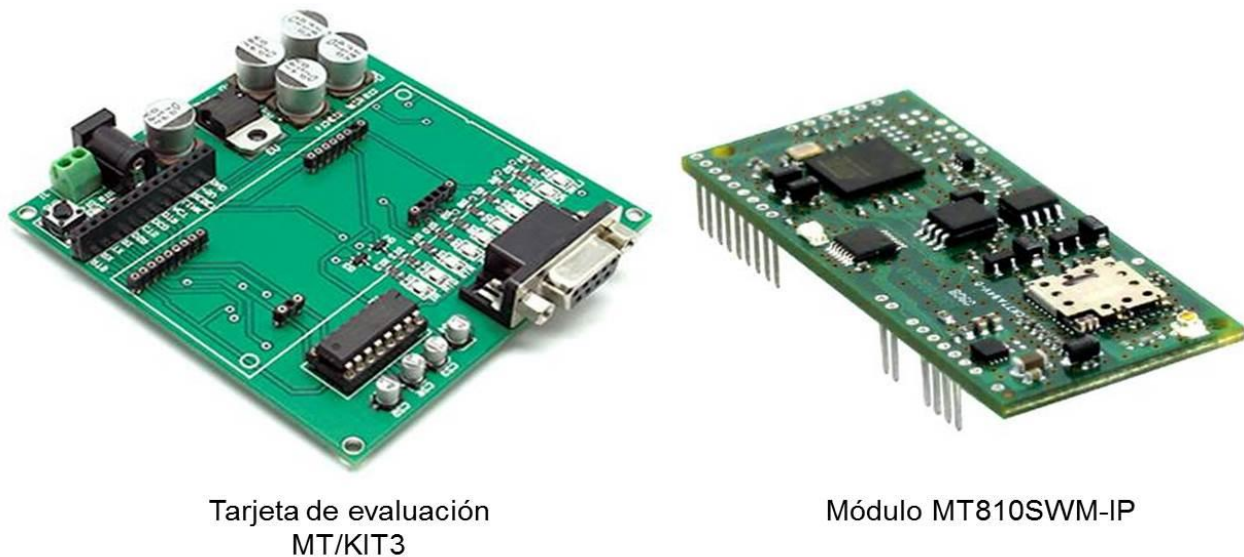


Figura 5.4. Conexión entre dispositivos, en el display se muestra el mensaje \$GPRMC.

Una vez que la información ha sido recibida y procesada por el microcontrolador, debe de ser enviada al CAL. En el capítulo 4 se discutió la tecnología a utilizar, el envío de información del DML al CAL será por medio de una red WLAN basada en el estándar IEEE802.11 [4].

Para el DML seleccionamos el módulo MT810SWM-IP con la tarjeta de desarrollo MT/KIT3 de la empresa Multitech Systems [5]. Estos dispositivos se muestran en la figura 5.5.



Tarjeta de evaluación  
MT/KIT3

Módulo MT810SWM-IP

Figura 5.5. Tarjeta de evaluación MT/KIT3 y módulo MT810SWM-IP.

Para la configuración del módulo Mt810SWM-IP se requiere de una comunicación serial, es decir, el puerto para la configuración Tx/Rx de información es por medio del protocolo serial, RS-232. Procediendo de manera similar a la configuración del receptor GPS LR9552, configuraremos el módulo MT810SWM-IP por medio de la *hyperTerminal*, esto es, conectaremos directamente la tarjeta de desarrollo MT/KIT3 a la computadora por el puerto serial. La configuración se hace por medio de comandos AT (*Attention*) [6], después de hacer una amplia revisión de los comandos AT concluimos que solo necesitábamos utilizar algunos de ellos que se describen en la tabla 5.2 para configurar el módulo MT810SWM-IP.

Comandos AT	Descripción
AT#IPADDR	Coloca una dirección IP estática en el módulo
AT#IPGATEWAY	Coloca una dirección Gateway en el módulo
AT#IPNETMASK	Coloca la máscara de la subred en el módulo
AT#WLANNETWORK	Establece el modo de trabajo de la red LAN inalámbrica, Ad-Hoc o infraestructura
AT#WLANSKAN	Explora las redes inalámbricas, busca y analiza los <i>Access Point</i> del entorno y muestra la información de su configuración
AT#WLANSID	Reconoce una red WLAN por medio del SSID
AT#WLANCONNECT	Se conecta a la red que reconoció con el SSID
AT#LTCPSTART=1	Modo escucha abierto, abre una conexión TCP con un puerto en específico
AT#OUTPORT	Controla el puerto local para una conexión UDP/TCP
AT#TCPPORT	Estable el número de puerto para la comunicación TCP, el número está comprendido entre 1 y 65535
AT#TCPSERV	Indica la dirección IP para comunicarse con un servidor
AT#OTCP	Abre una conexión TCP
AT#VALL	Revisa todos los parámetros almacenados en el módulo
AT#WLANPROFILE	Crea un perfil para una conexión WLAN, donde se puede asignar el SSID, tipo de seguridad, contraseña y permite crear hasta 4 perfiles diferentes
AT#WLANUSEPROFILE	Selecciona el perfil creado para activarlo y trabajar con el

Tabla 5.2. Comandos de configuración AT para el módulo MT810SWM-IP.

Para caracterizar y comprender el funcionamiento del módulo realizaremos diferentes configuraciones:

- ✖ Módulo gestionado por una computadora, comunicación modo Ad-Hoc con otra computadora.
- ✖ Modulo gestionado por el PIC16F887, comunicación modo Ad-Hoc con una computadora.

- ✘ Módulo gestionado por una computadora, comunicación modo infraestructura con una computadora.
- ✘ Modulo gestionado por el PIC16F887, comunicación modo infraestructura con una computadora.

### Módulo gestionado por una computadora, comunicación modo Ad-Hoc con otra computadora.

Una red Ad-Hoc basada en el estándar IEEE802.11, es una arquitectura donde se conectan dos o más computadoras sin la necesidad de un Access Point [7], es decir, el intercambio de información se hace directamente entre computadoras. Para el desarrollo de nuestro sistema utilizamos una computadora para gestionar el módulo MT810SWM-IP y la comunicación se realiza con otra computadora, como se puede observar en la figura 5.6.



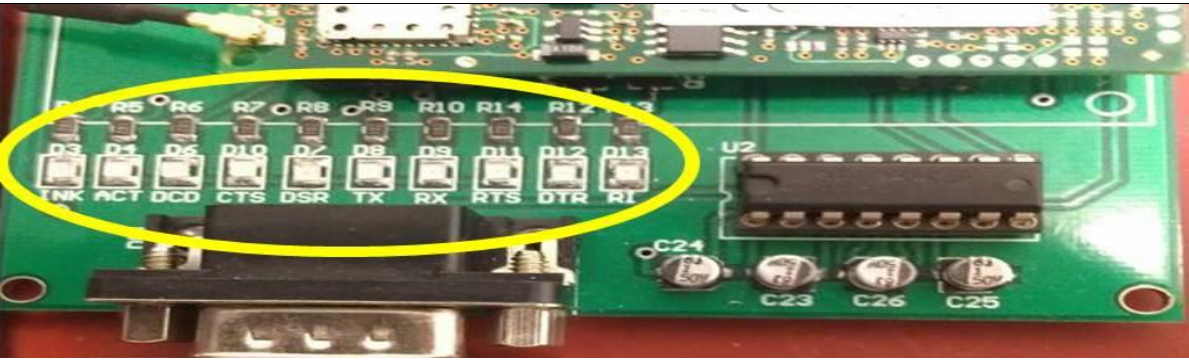
Figura 5.6. Comunicación Ad-Hoc entre tres elementos, dos computadoras y el módulo MT810SWM-IP.

A continuación se describe la forma secuencial de los comandos que se utilizaron para la configuración del módulo MT810SWM-IP en modo Ad-Hoc, tabla 5.3.

Comandos AT	Descripción
AT#IPADDR="172.18.19.5"	Coloca esta dirección IP en el módulo
AT#IPNETMASK="255.255.255.0"	Coloca esta dirección de mascara de red en el módulo
AT#IPGATEWAY="172.18.19.254"	Coloca la puerta de salida en el módulo
AT#WLANNETWORKMODE=1	Establece que el módulo trabaje en modo Ad-Hoc
AT#TCPPOINT=23	Establece el puerto 23 para trabajar con el protocolo TCP
AT#TCPSERV="172.18.19.10"	Dirección IP por la cual se efectuará la comunicación TCP
AT#LTCPPSTART=1	Modo escucha abierto para la conexión vía TCP

Tabla 5.3. Comandos para la configuración del módulo MT810SWM-IP en modo Ad-Hoc.

Cuando ya realizamos la conexión Ad-Hoc entre la computadora y el módulo, es necesario verificar que se estableció dicha conexión entre ellos, para comprobarlo existen dos formas, en la primera, se puede observar en el software de la *hyperTerminal* que al abrir la conexión aparece un mensaje *Waiting for data*, lo que significa que ya podemos mandar y recibir información a través de la comunicación Ad-Hoc. La segunda forma se muestra en la tabla 5.4, la tarjeta de evaluación MT/KIT3 contiene 10 LED's (*Light Emitting Diode*), cuando le suministramos 9V vemos que los LED's correspondientes a LINK, ACT, CTS, RTS y RI se encienden. Y cuando se conecta a la red cambia la secuencia de encendido de los LED's, ya que aparte de encenderse los antes mencionados también se encienden los LED's correspondientes a DCD y DCR.



	LINK	ACT	DCD	CTS	DCR	TX	RX	RTS	DTR	RI
Tarjeta encendida	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tarjeta conectada a la red WLAN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabla 5.4. Verificación de conexión a la red por medio de los LED's.

Como mencionamos, al configurar el Módulo MT810SWM-IP y al abrir la conexión TCP, se puede intercambiar información entre la computadora que gestiona al módulo y otra computadora que se haya conectado a la red de modo Ad-Hoc, esto lo observamos en la figura 5.7, donde se aprecia que la computadora que gestiona al módulo envía la palabra "HOLA MUNDO" a través de él y esta palabra es recibida en otra computadora por medio de la *hyperTerminal*, y en su pantalla aparece la palabra "HOLA MUNDO", de manera inversa, cuando la otra computadora le envía la palabra "BUENA COMUNICACIÓN", esta palabra llega a través del módulo y se muestra en la pantalla de la computadora por medio del software *hyperTerminal*.



Figura 5.7. Resultados de la comunicación en modo Ad-Hoc.

En la tabla 5.4 vimos cómo se puede reconocer cuando el módulo se conecta a la red de modo Ad-Hoc, pero ¿qué debemos hacer cuando se pierde esta conexión? La forma de resolverlo es mandar de nuevo el comando para abrir la conexión TCP y comprobar la secuencia de los LED's para visualizar que se estableció la comunicación con la red. Es importante recordar que cada vez que se envían los comandos AT se debe reiniciar el Módulo MT810SWM-IP y la tarjeta de evaluación, esto se debe ejecutar para que el propio módulo haga los cambios necesarios en su programación y así queden establecidos los parámetros que se le asignaron. Además la secuencia de comandos AT para conexión Ad-Hoc cambian cuando queremos realizar una comunicación en modo infraestructura, esto lo detallaremos más adelante.

### **Modulo gestionado por el PIC16F887, comunicación modo Ad-Hoc con una computadora.**

En la comunicación de modo Ad-Hoc gestionado por el PIC16F887, utilizaremos también la tarjeta de desarrollo EASYPIC6, estos dos dispositivos toman el lugar de la computadora que gestiona al módulo MT810SWM-IP, (figura 5.8). Utilizamos el software mikroC para programar el PIC16F887 y que de esta forma envíe los comandos AT de la tabla 5.3.

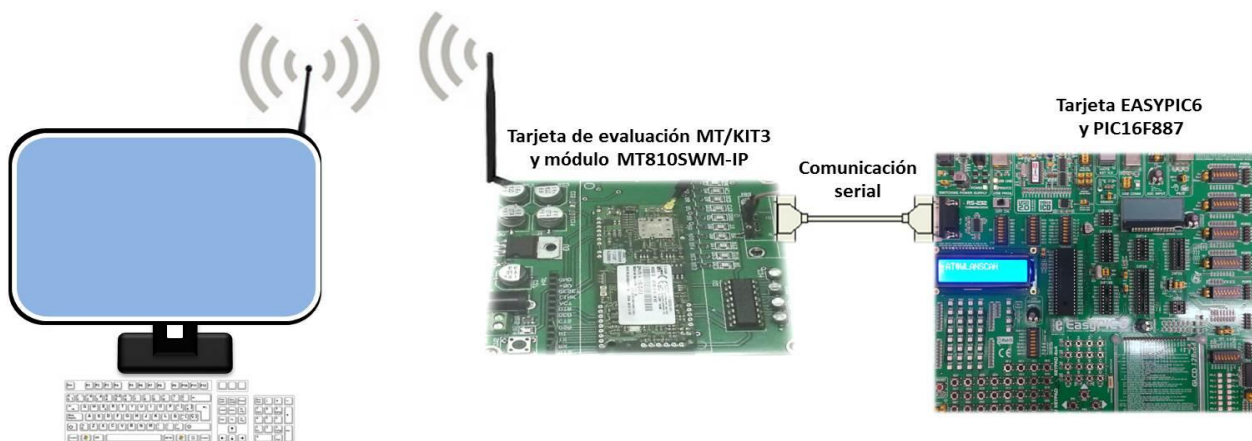


Figura 5.8. Comunicación Ad-Hoc entre tres elementos, una computadora, el módulo MT810SWM-IP y el PIC16F887.

Para realizar la conexión de modo Ad-Hoc, como se muestra en la figura 5.9, los comandos son enviados de forma serial al módulo MT810SWM-IP y para comprobar que se están enviando programamos el PIC16F887 para que muestre en el display lo que está transmitiendo por el puerto serial.

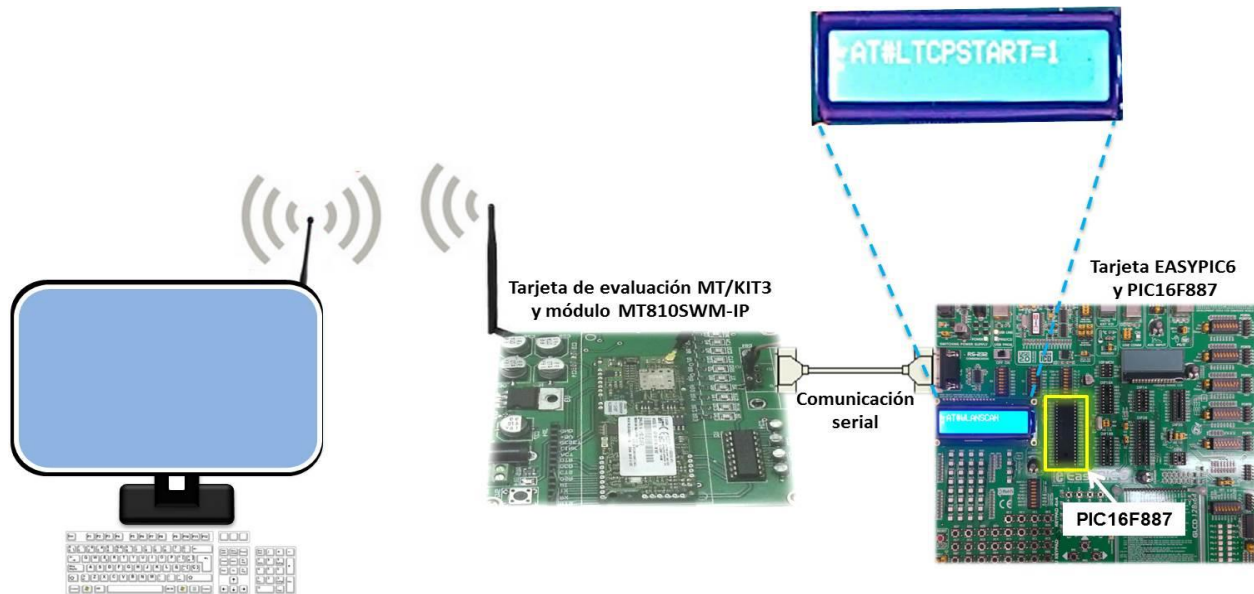


Figura 5.9. Configuración del módulo MT810SWM-IP por medio del PIC16F887, para establecer la comunicación de modo Ad-Hoc.

Cuando realizamos la comunicación se puede enviar información, programando en el PIC16F887 las palabras “COMUNICACIÓN EXITOSA”, estos datos deben reflejarse en la computadora que está conectada de modo Ad-Hoc en nuestro sistema. En la figura 5.10, se muestra el resultado de la comunicación entre el PIC16F887, la tarjeta EASYPIC6 gestionando al módulo MT810SWM-IP y una computadora, nuevamente utilizamos la *hyperTerminal* para ver los datos que fueron enviados por el PIC16F887 a través del módulo.

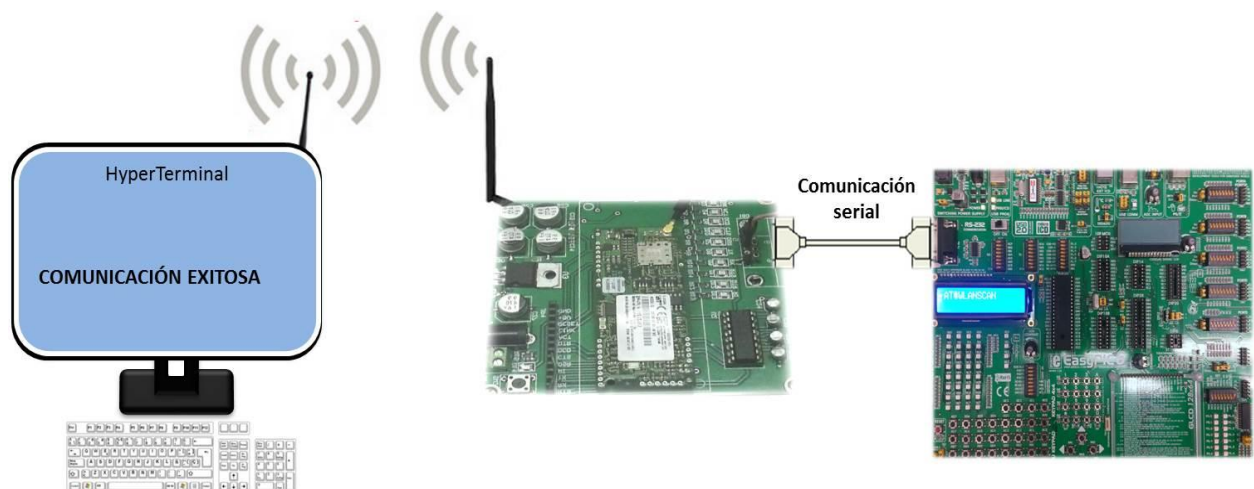


Figura 5.10. Resultados de la comunicación en modo Ad-Hoc gestionada por el PIC16F887.

### Módulo gestionado por una computadora, comunicación modo infraestructura con una computadora.

Una red de modo infraestructura es parecida al modo Ad-Hoc, ya que también está basada en el estándar IEEE802.11, pero la diferencia radica en que la comunicación entre dispositivos se realiza mediante un Access Point [7], es decir, cuando una computadora se desea comunicar con otra, el punto de acceso es el que gestiona la comunicación, además permite que más dispositivos se puedan comunicar entre sí. En la figura 5.11 se puede ver la comunicación de modo infraestructura entre una computadora que se encarga de gestionar al módulo MT810SWM-IP, el punto de acceso y otra computadora.

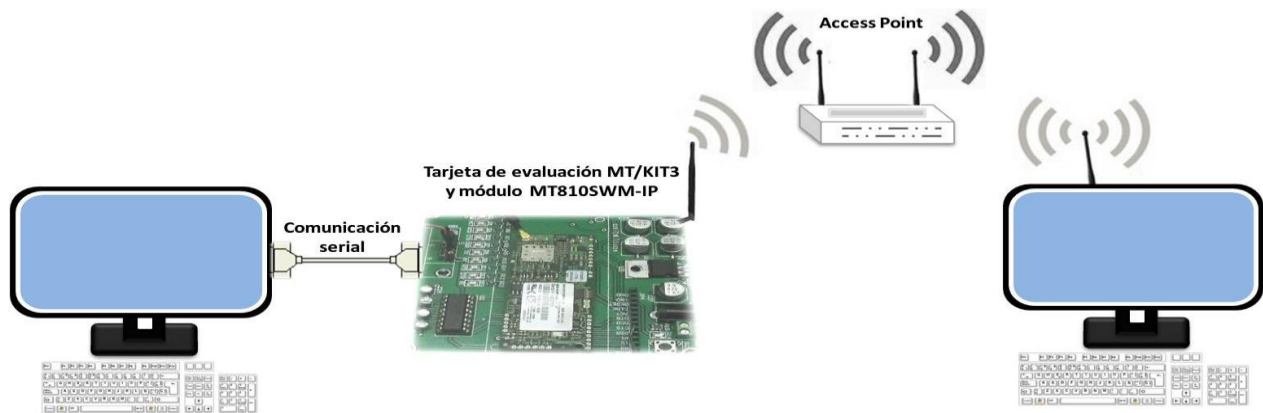


Figura 5.11. Comunicación infraestructura entre tres elementos, dos computadoras y el módulo MT810SWM-IP. En la tabla 5.4 se muestra de forma secuencial los comandos que se utilizaron para la configuración del módulo MT810SWM-IP en modo infraestructura y una breve descripción de la función que realiza cada uno.

Comandos AT	Descripción
AT#WLANNETWORKMODE=0	Establece que el módulo trabaje en modo infraestructura
AT#WLANSCAN	Explora las redes inalámbricas del entorno y muestra la información de su configuración
AT#WLANPROFILE 1=1, "Ciscob"	Este comando crea el perfil 1, con el nombre del punto de acceso a conectarse
AT#WLANUSEPROFILE=1	Carga el perfil 1 que fue creado anteriormente para conectarse a el
AT#TCPPOINT=5357	Establece el puerto 5357 para trabajar con el protocolo TCP
AT#WLANSSID="Ciscob"	Reconoce el nombre de las redes por medio del SSID, para conectarse a un punto de acceso
AT#WLANCONNECT	Con este comando se conecta a una red, dependiendo del perfil que se cargo
AT#OTCP=1	Abre una conexión vía TCP con el perfil previamente cargado

Tabla 5.5. Comandos AT para comunicación infraestructura.

Con los comandos AT que acabamos de describir, se configura la comunicación de modo infraestructura entre una computadora que gestiona al módulo MT810SW-IP y otra computadora, para comprobar la comunicación se envía la información “COMUNICACIÓN INFRAESTRUCTURA” a través de la *hyperTerminal* de la computadora, esa información deberá ser enviada a través del módulo, pasará por el punto de acceso y llegará a la *hyperTerminal* de la otra computadora, figura 5.12. Y de forma viceversa, cuando se envía información de esta última computadora, se debe leer en la *hyperTerminal* de la computadora que gestiona el módulo.

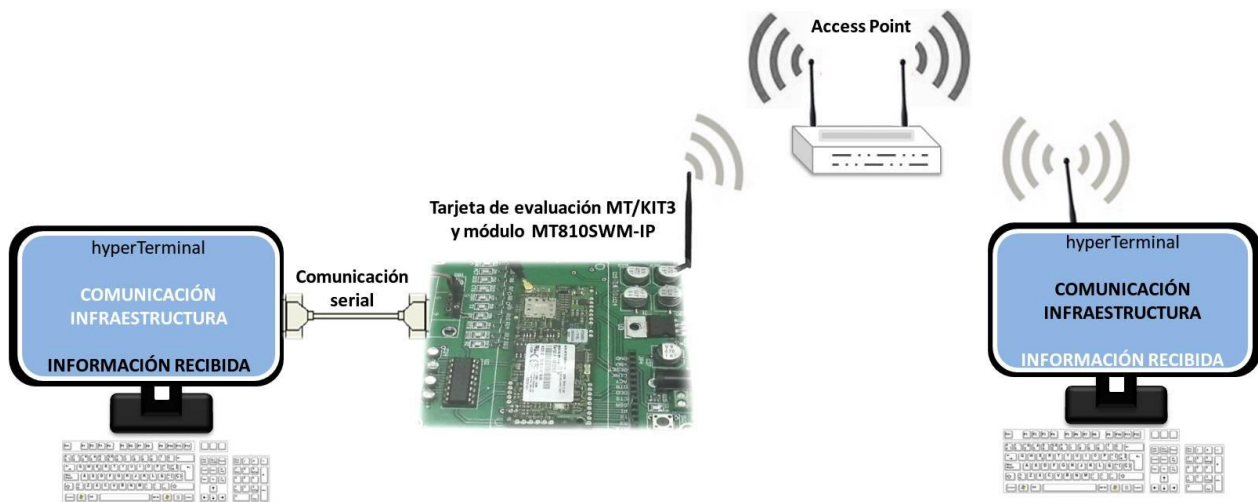


Figura 5.12. Resultados de la comunicación en modo Infraestructura.

No debemos olvidar que cuando se desea trabajar de modo infraestructura hay que cambiar el valor de 1 a 0, en la línea de comando respectiva. Además en la tabla 5.5 se observa que ya no se modificaron los valores de IP, MAC y Gateway, ya que en la configuración Ad-Hoc quedaron establecidos. Lo que si se modificó fue el puerto de comunicación que en un principio lo teníamos en el 23 y para esta configuración lo cambiamos al 5357.

### **Módulo gestionado por el PIC16F887, comunicación modo infraestructura con una computadora.**

Por último, debemos realizar la configuración del Módulo MT810SWM-IP con el PIC16F887, esto con la finalidad de que sea este Microcontrolador el que gestione al módulo. Por lo tanto debemos utilizar el software de mikroC para programar el PIC16F887 para que envíe las líneas de comando que mostramos en la tabla 5.5, de esta manera se logra la configuración de modo infraestructura como se observa en la figura 5.13.

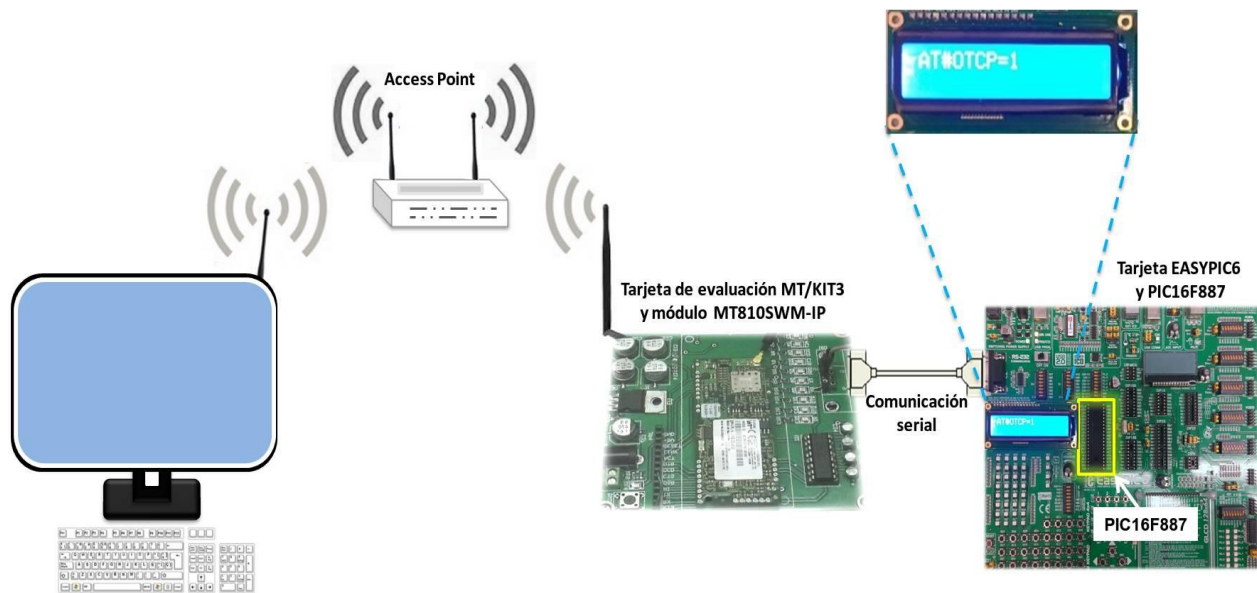


Figura 5.13. Configuración del módulo MT810SWM-IP por medio del PIC16F887, para establecer la comunicación de modo infraestructura.

También usamos este mismo software para programar el PIC16F887 y enviar información una vez que ya se estableció la conexión de red en modo infraestructura. Al hacer esto podemos ver el intercambio de información como se muestra en la figura 5.14, donde debe leerse “CONFIGURACIÓN EN MODO INFRAESTRUCTURA EXITOSA”. De esta forma obtenemos el resultado de la transmisión, comprobando así que se realizó con éxito la configuración de modo infraestructura.

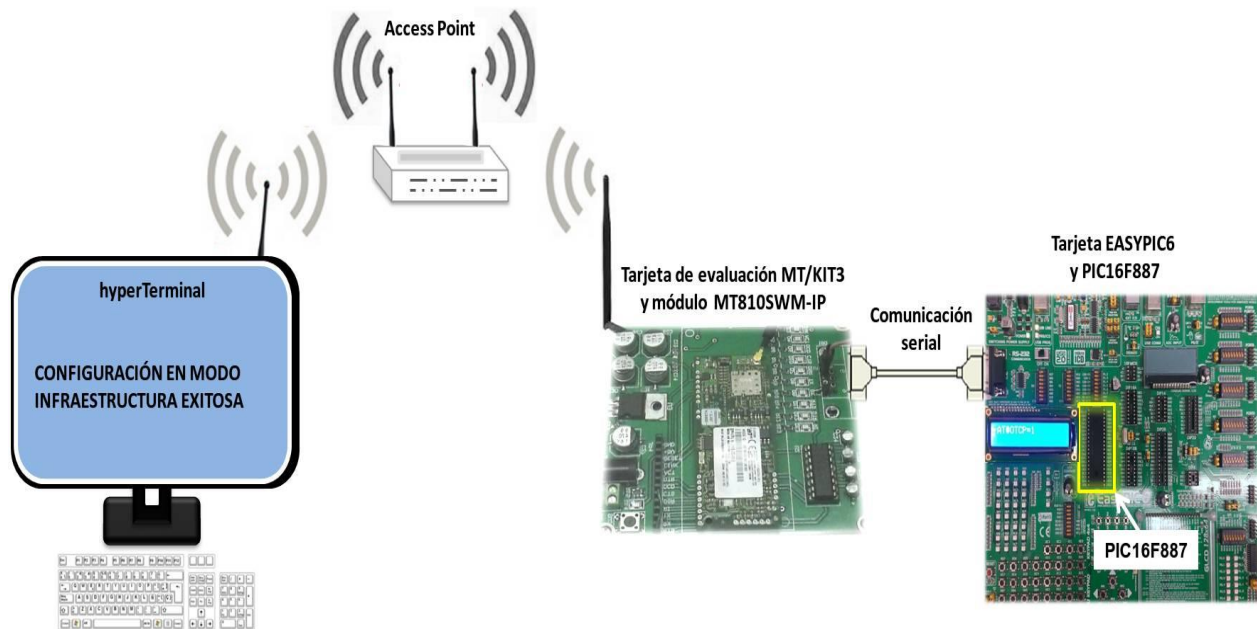


Figura 5.14. Resultados de la comunicación en modo Infraestructura gestionada por el PIC16F887.

Una vez configurados los elementos por separado, procedemos a realizar la integración del DML. En la figura 5.15 se muestra la interconexión del receptor LR9552 con el Microcontrolador PIC16F887 y el módulo WiFi MT810SWM-IP. En la integración de estos elementos utilizaremos un buffer, el cual se encargará de comunicar al PIC16F887 con el GPS LR9552 y el módulo MT810SWM-IP, ya que ambos transmiten por el puerto serial y el PIC solo cuenta con un puerto serial de comunicación.

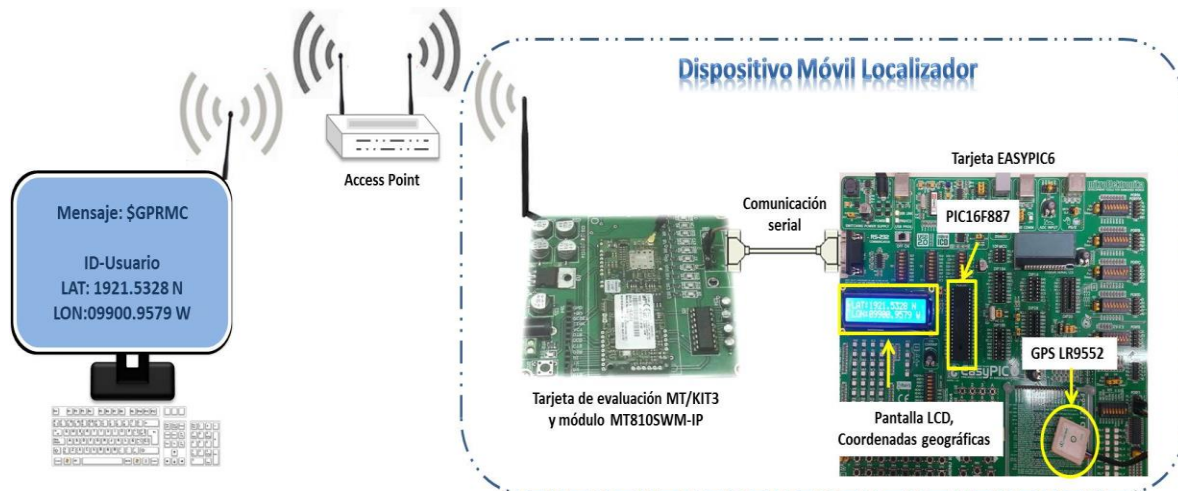


Figura 5.15. Interconexión de los elementos que conforman el DML.

El buffer con el que realizamos la interconexión es el circuito integrado SN74LS244N de la empresa Motorola [8], (figura 5.16) y cuenta con las siguientes características:

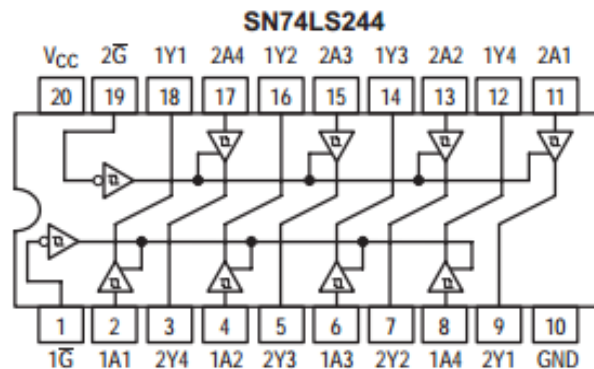


Figura 5.16 Distribución de pines del circuito integrado SN74LS244N.

- ❖ Cuenta con ocho buffers de tres estados.
- ❖ Contiene dos compuertas inversoras 1G (pin 1) y 2G (pin 19), para el control de las salidas de los buffers, es decir, para la activación de estas compuertas se necesita de un cero lógico.
- ❖ El control de las salidas se realiza mediante la siguiente tabla de verdad, 5.6.

Entradas		Salidas	
1G	2G	1G	2G
0	0	1 (Habilita las entradas 1A1-1A4 y salidas 1Y1-1Y4)	1 (Habilita las entradas 2A1- 2A4 y salidas 2Y1-2Y4)
1	0	0 (Deshabilita las entradas 1A1-1A4)	1 (Habilita las entradas 2A1- 2A4 y salidas 2Y1-2Y4)
0	1	1 (Habilita las entradas 1A1- 1A4 y salidas 1Y1-1Y4)	0 (Deshabilita las entradas 2A1-2A4.)
1	1	0 (Deshabilita las entradas 1A1-1A4.)	0 (Deshabilita las entradas 2A1- 2A4.)

Tabla 5.6. Tabla de verdad del circuito integrado SN74LS244N.

Al revisar las características y tabla de verdad del buffer, realizamos la interconexión del receptor GPS LR9552 y el módulo WiFi MT810SWM-IP, con el PIC16F887 por medio del control de las salidas del buffer, es decir, los buffers que controlan la compuerta inversora 1G, se encargan de la comunicación del módulo GPS LR9552 para que transmita solo el mensaje \$GPRMC, y la compuerta 2G establece la comunicación entre el PIC16F887 y el módulo MT810SWM-IP para la configuración de éste mediante los comandos AT, además transmite el mensaje \$GPRMC al PIC16F887 para que sea procesado y posteriormente se envíe por medio del módulo WiFi MT810SWM-IP al CAL. En la tabla 5.7 se muestra la tabla de las acciones que debe de realizar el buffer.

Entradas		Acción
1G	2G	
0	0	Combinación descartada, habilita ambos módulos.
1	0	Configuración del módulo MT810SWM-IP. Transmite el mensaje \$GPRMC al módulo WiFi MT810SWM-IP por medio del PIC16F887.
0	1	Configuración del módulo GPS LR9552.
1	1	Deshabilita ambos dispositivos

Tabla 5.7. Acciones que debe realizar el buffer.

Las compuertas inversoras 1G y 2G son activadas por el PIC16F887, por medio de los pines 39 (B6) y 40 (B7) del puerto B. En la figura 5.17, mostramos la configuración de la interconexión

del módulo GPS LR9552 y el módulo MT810SWM-IP, ambos gestionados por el PIC16F887 a través del buffer.

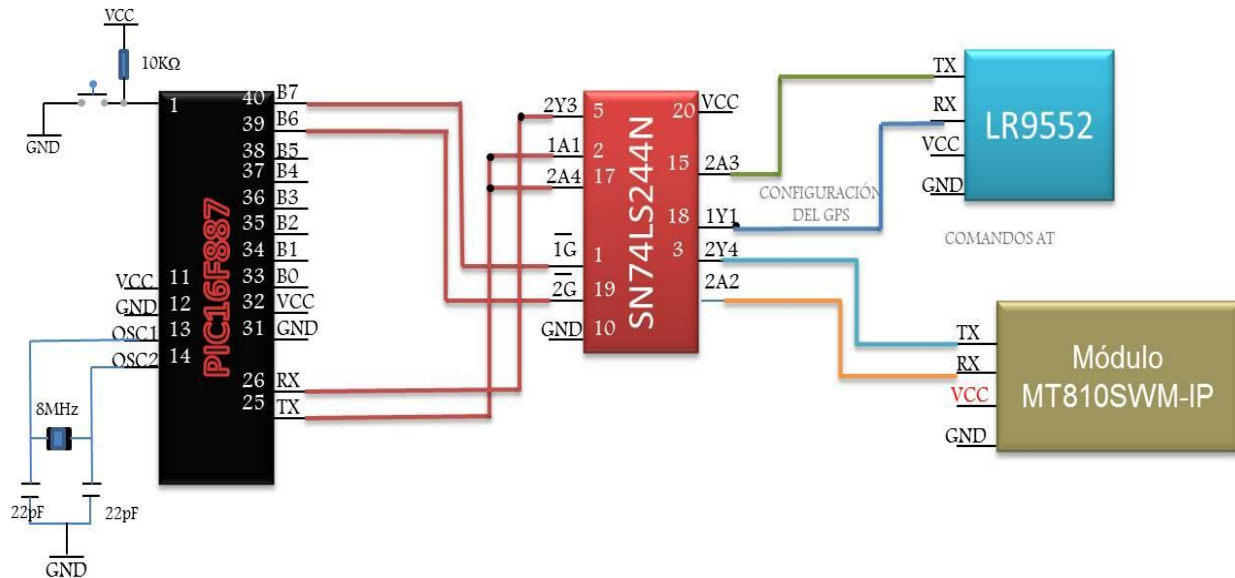


Figura 5.17. Interconexión de los elementos a través del buffer.

A continuación describimos de forma secuencial las funciones de la figura 5.17:

- ❖ Por medio del pin 39 (B6) activamos la entrada 1A1 del buffer que está conectada al Tx (Transmisor) del PIC16F887 y la salida 1Y1 está conectado al Rx (Receptor) del GPS LR9552. Como ya mencionamos el PIC16F887 se encarga de configurar el módulo GPS LR9552 para que transmita el mensaje \$GPRMC.
- ❖ Por medio del pin 40 (B7) activamos las entradas 2A3 y 2A4, la entrada 2A4 del buffer se conecta al Tx (transmisor) del PIC16F887 y la salida 2Y4 está conectada al Rx (Receptor) del MT810SWM-IP, para configurar el módulo mediante los comandos AT.
- ❖ La entrada 2A3 del buffer se conecta al Tx (transmisor) del GPS LR9552 y la salida 2Y3 se conecta al Rx (Receptor) del PIC16F887, se encarga de transmitir el mensaje \$GPRMC al PIC16F887.
- ❖ La entrada 2A4 del buffer que está conectada al Tx (transmisor) del PIC16F887 y la salida 2Y4 que está conectada al Rx (Receptor) del módulo WiFi MT810SWM-IP, se encarga de transmitir las coordenadas geográficas, la fecha, la hora y el identificador de usuario al módulo WiFi, para que a su vez sean transmitidos al CAL.

Para ilustrar la interacción de los componentes nos basamos en los diagramas de bloques de la figura 5.18. En la figura 5.18 a) se muestra cuando el DML está en modo de espera, es decir, el PIC16F887 solo recibe el mensaje \$GPRMC del módulo GPS LR9552 y no establece una comunicación con el CAL. Al oprimir el botón de emergencia del DML pasa de modo espera a

atendiendo solicitud, figura 5.18 b), es decir, el DML manda la información necesaria para ser interpretada en el CAL dicha información corresponde a: coordenadas geográficas, fecha, hora e identificador de usuario.

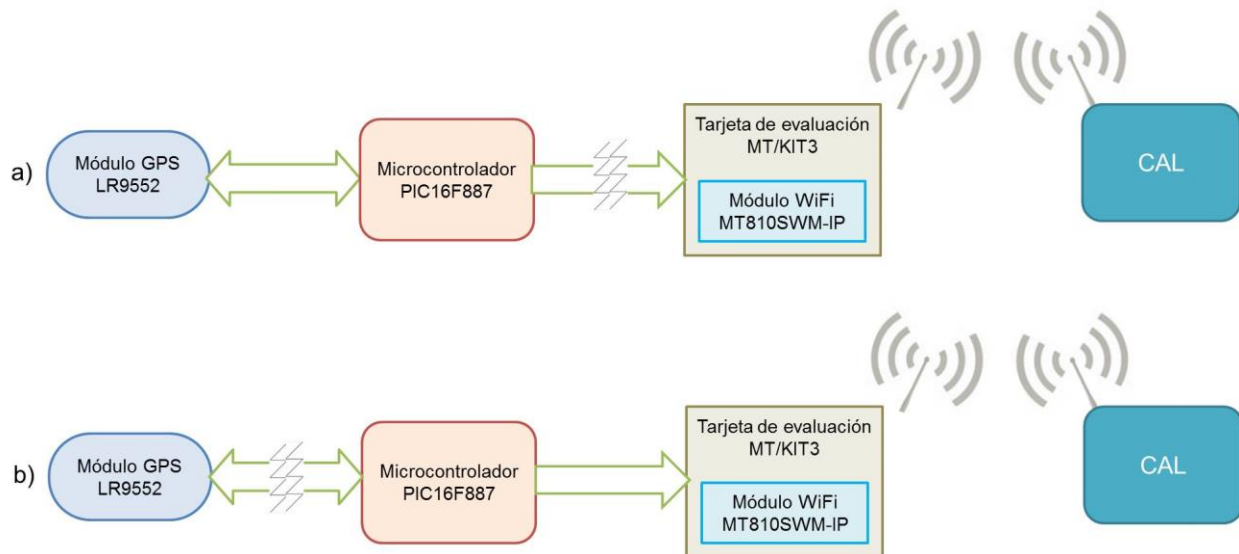


Figura 5.18. Interacción de los componentes. a) modo espera y b) atendiendo solicitud.

Es importante destacar que se trata de un dispositivo móvil; la figura 5.15 muestra el DML que de ninguna manera es portable. Hoy en día la mayoría de los dispositivos electrónicos emplean componentes de montaje superficial, para montar y soldar esto se requiere equipo especializado, de costo elevado. La institución no cuenta con la infraestructura para este tipo de trabajos. Sin embargo, con la finalidad de realizar pruebas de campo integramos todos los elementos en un circuito impreso. En la figura 5.19 presentamos el diagrama eléctrico del DML desarrollado en el programa Altium Designer [9].

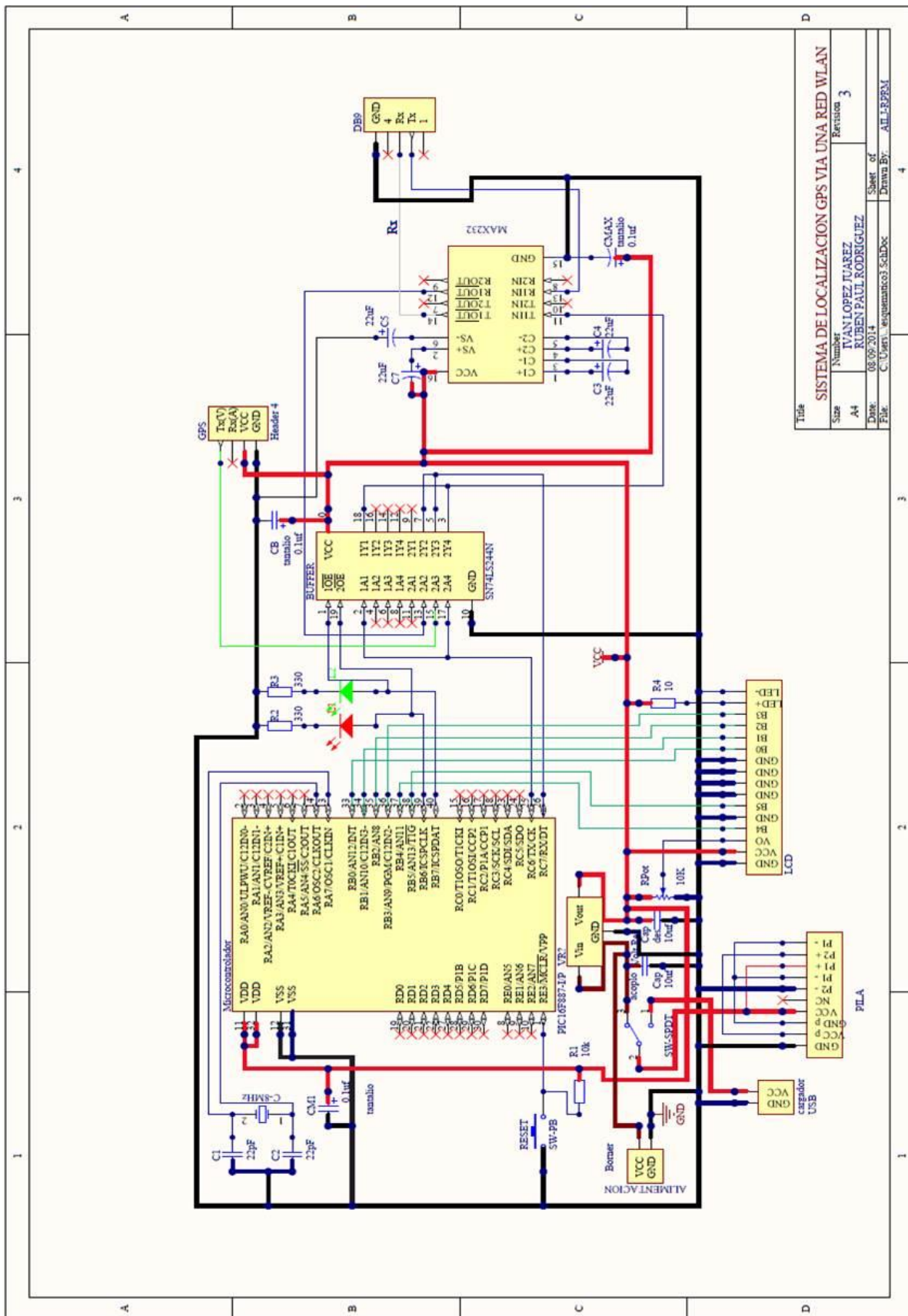


Figura 5.19. Diagrama eléctrico del DML desarrollado en Altium.

Altium es un software especializado para el diseño de circuitos impresos. En la figura 5.20 se muestra el circuito impreso para el DML y sus respectivas dimensiones. Aun cuando el software se encarga de trazar las pistas es necesario configurar:

- ✘ La selección de capas para el circuito impreso.
- ✘ Configurar el tamaño de la tarjeta PCB (*Printed Circuit Board*).
- ✘ Determinar el ancho de las pistas.
- ✘ Cargar los componentes del esquemático a la tarjeta PCB.
- ✘ Cambiar el tamaño de pistas para alimentación y tierra.
- ✘ Modificar el tamaño de los *pads*.
- ✘ Verificar que coincida el *thruhole* de las vías.
- ✘ Seleccionar componentes para *thruhole* o *surface mount*.
- ✘ Cambiar las unidades de medición de imperial a métricas.
- ✘ Cambiar el tamaño de algunos componentes.
- ✘ Distribución de los dispositivos en el circuito impreso.
- ✘ Cargar lista de componentes en el circuito impreso con *Netlist*.
- ✘ Altium cuenta con la opción de auto-route pero algunas pistas se tuvieron que trazar manualmente.
- ✘ Descargar las librerías de la página Altium de los fabricantes de los dispositivos que se ocuparon en el DML [10].
- ✘ Por último se realizaron los archivos Gerber que contienen la información necesaria para el circuito impreso.

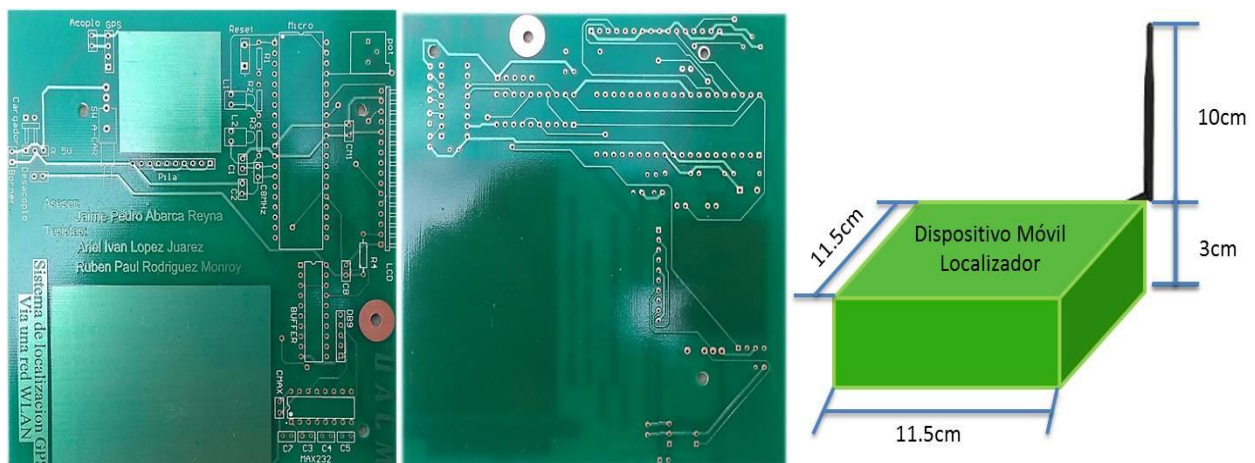


Figura 5.20. Circuito impreso y dimensiones del DML.

Como observamos en la figura 5.20 las dimensiones del DML son de 11.5cm de lado y tiene una altura aproximada de 13cm con la antena incluida.

En la figura 5.21 se presenta el DML completo. Se realizaron pruebas de comunicación en modo infraestructura obteniendo resultados favorables.

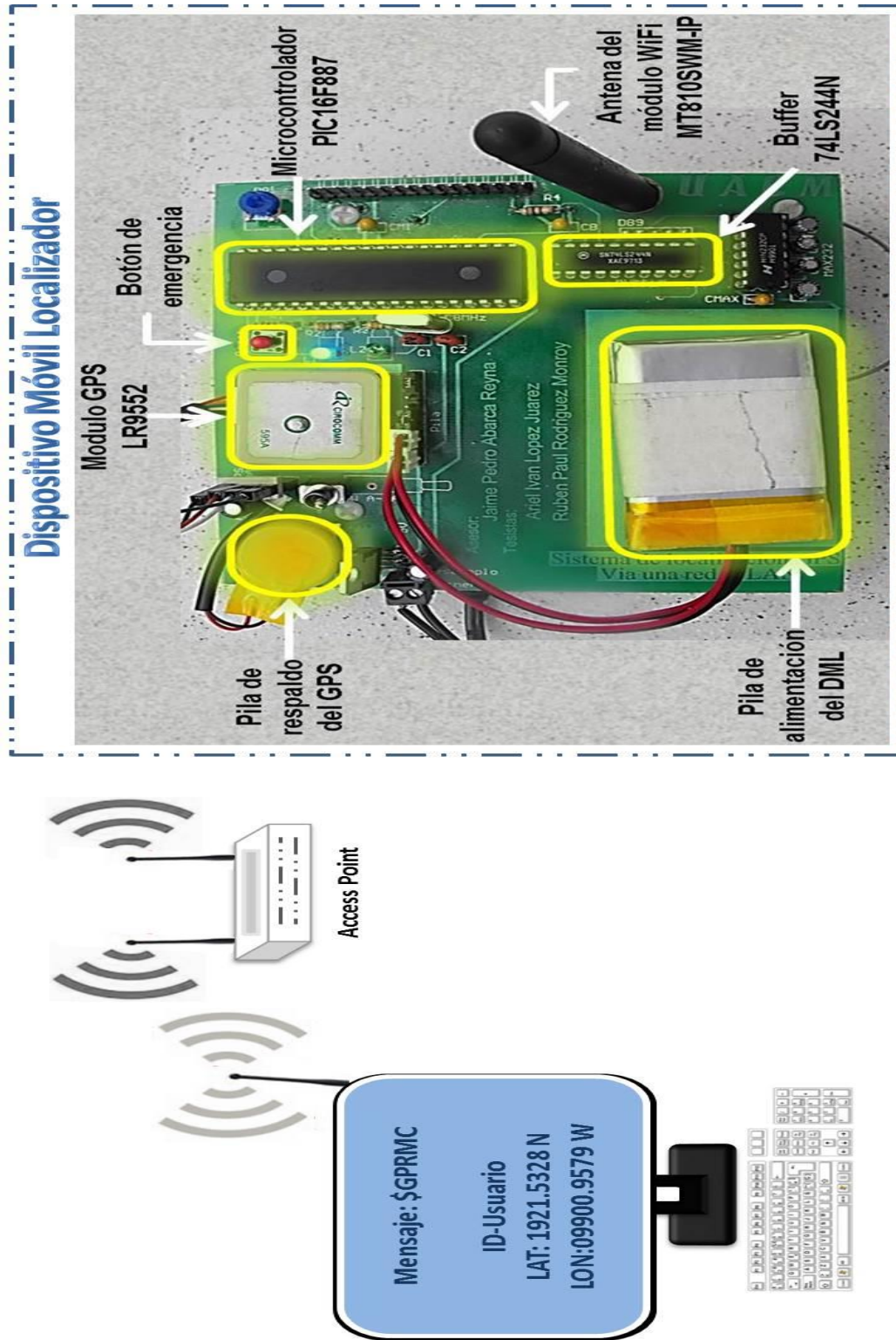


Figura 5.21. Comunicación del Dispositivo Móvil Localizador completo en modo infraestructura.

## 5.2. Centro de Asistencia Local.

Nuestro sistema se compone, básicamente, de dos elementos: el DML y el CAL, Centro de Asistencia Local. En esta sección explicaremos el proceso de cómo se fueron desarrollando los elementos que componen al CAL, ver figura 5.22, y la interacción entre ellos. Un navegador como Mozilla Firefox, Chrome o Internet Explorer es el vínculo entre la base de datos, el DML y el SIG. Además de contener la interfaz gráfica del CAL.

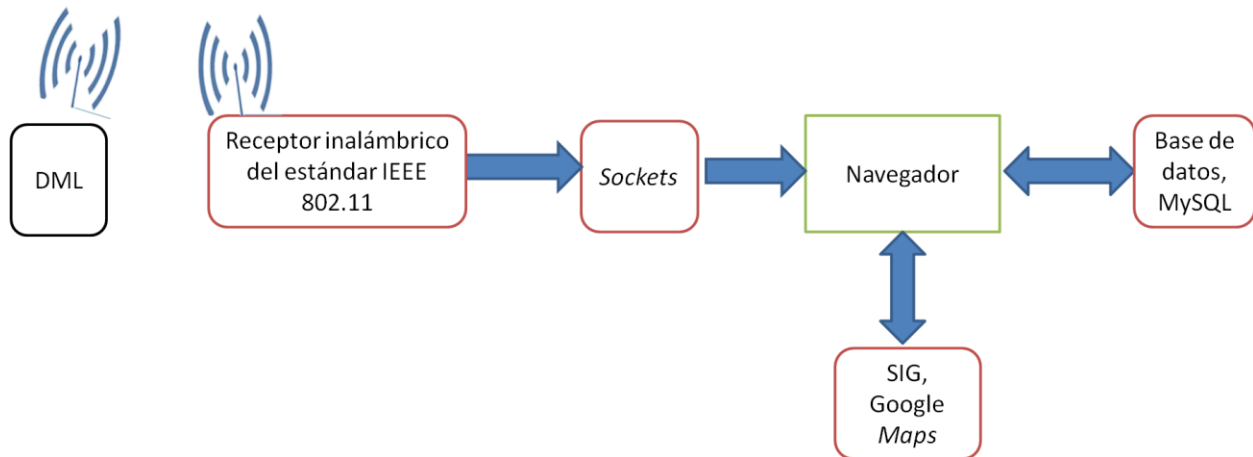


Figura 5.22. Elementos que componen al CAL.

Iniciaremos con el desarrollo de la base de datos.

### 5.2.1. Desarrollo de la base de datos.

El diseño de la base de datos se resume en cuatro etapas:

- ✘ Recopilación de la información.
- ✘ Representar la información o las necesidades de la base de datos en el esquema Entidad/Relación.
- ✘ Pasar el esquema Entidad/Relación al modelo relacional.
- ✘ Por último implementarlo al SGBD MySQL.

Como primer paso se necesita recabar la información necesaria para realizar la base de datos, en este caso el siguiente enunciado describe la información que deseamos implementar en la base de datos.

El enunciado es el siguiente: se desea hacer una base de datos que almacene los usuarios registrados que portaran el DML, como: id (identificador de usuario), nombre, apellido paterno, apellido materno, calle, colonia, código postal, teléfono de casa, teléfono del responsable, género, ocupación, información médica y prioridad. Y que almacene a su vez un control de los mensajes de auxilio que realizaron los usuarios, como: id (identificador de usuario), nombre, apellido paterno, apellido materno, fecha y hora en que se realizó el mensaje y prioridad. Lo

anterior con la finalidad de generar un reporte de los mensajes de auxilio que se generaron ya sea por día, mes o año.

Al contar con dicha información el segundo paso es representar la información o las necesidades de la base de datos en el modelo Entidad/Relación [11], figura 5.23.

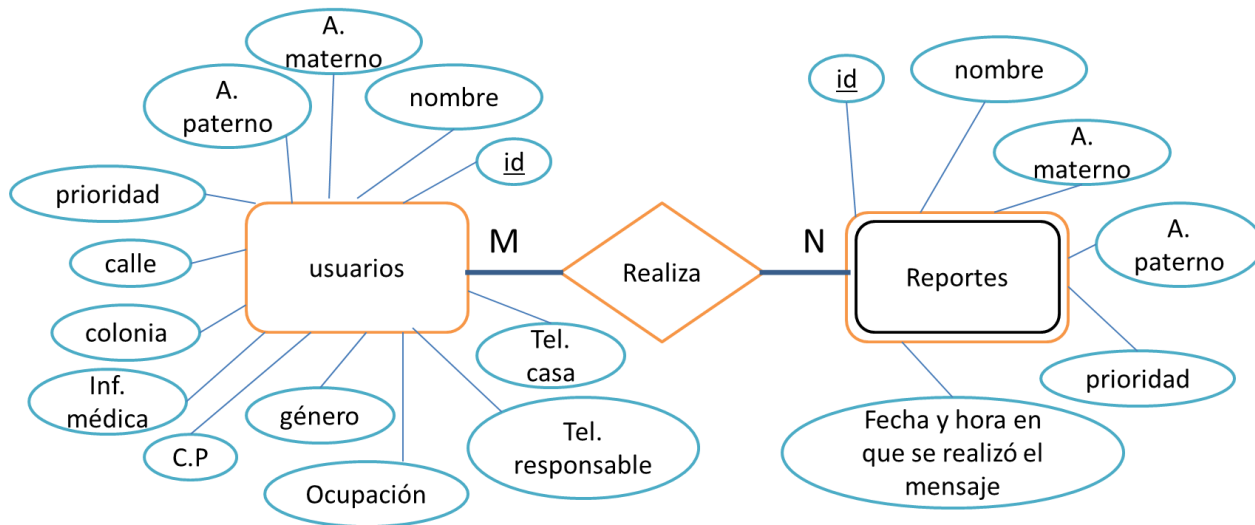


Figura 5.23. Modelo Entidad/Relación empleado para el desarrollo de la base de datos.

En la figura 5.23, la relación une la entidad fuerte usuarios y la entidad débil reportes (debido a que depende de los mensajes de auxilio que emitan las personas para que pueda existir los reportes), en la cual se identificó con el verbo *realiza* del enunciado anterior. Teniendo una relación muchos a muchos (M,N), dado que varios usuarios pueden generar varios reportes en el día, mes o año.

La llave como se mencionó en la sección 3.1.1, es aquella que identifica a la identidad de manera única, en este caso es *id* (identificador de usuario).

Como tercer paso, partimos del esquema Entidad/Relación, para organizar los datos o la información en el modelo relacional basado en tablas, para esto hacemos lo siguiente.

Primero aparece el nombre de las entidades (tabla) en mayúsculas y entre paréntesis sus atributos, las llaves aparecen siempre subrayadas:

- ✘ USUARIOS (id, nombre, apellido paterno, apellido materno, calle, colonia, código postal, teléfono de casa, teléfono del responsable, género, ocupación, información médica y prioridad).
- ✘ REPORTES (id, nombre, apellido paterno, apellido materno, fecha y hora en que se realizó el mensaje y prioridad).

Cabe mencionar que la relación (M,N), no generó otra tabla debido a que las dos entidades comparten la misma llave.

Una vez teniendo la información organizada en el modelo relacional, el cuarto paso es implementar las tablas del modelo relacional en el SGBD MySQL.

Existen diferentes formas de administrar y crear una base de datos en MySQL, sin embargo al realizar un análisis optamos por phpMyAdmin una aplicación desarrollada en PHP para crear y administrar una base de datos en MySQL. Otra como monitor de MySQL, nos ofrece la flexibilidad requerida.

En la figura 5.24 se muestran las distintas tablas que conforman la base de datos.

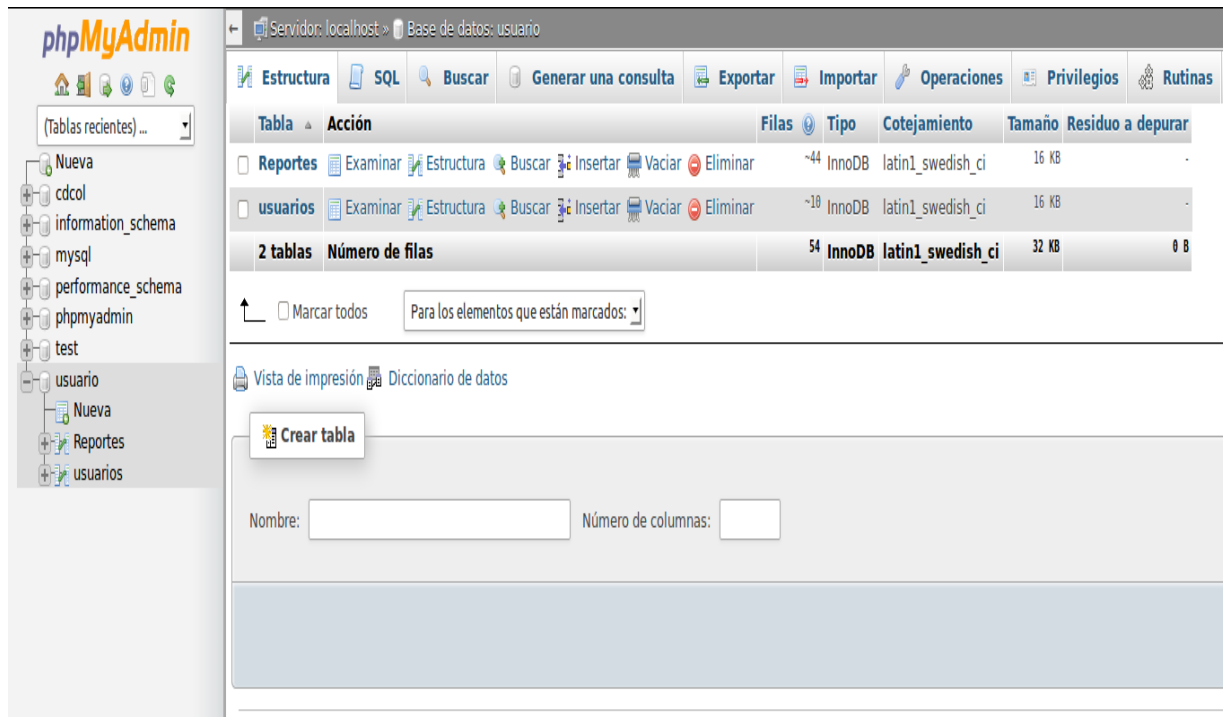


Figura 5.24. Tablas de la base de datos.

Como se observa en la figura 5.24, la base de datos está formada por dos tablas: Reportes y usuarios.

La tabla usuarios, está conformada por todos sus atributos descritos en el esquema Entidad/Relación y organizados en el modelo relacional como son: id, nombre, apellido paterno, apellido materno, calle, colonia, código postal, teléfono de casa, teléfono del responsable, género, ocupación, información médica y prioridad (figura 5.25).

phpMyAdmin - usuario - usuarios

Base de datos: usuario (2)

Reportes usuarios

Mostrar: 30 filas empezando de 0 y repetir los encabezados cada 100 celdas

horizontal

Mostrar: 30 filas empezando de 0 y repetir los encabezados cada 100 celdas

horizontal

Perfil/Perfilamiento [ Editar ] [ Explicar el SQL ] [ Crear código PHP ] [ Actualizar ]

id	nombre	apellidoP	apellidoM	calle	colonia	delegacion	CP	telcasa	telresponsable	genero	ocupacion	infmedica	prioridad
PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	Xochinahuc	San Pablo Xalpa	iztapalapa	02210	53192099	5319209999	H	Ingeniero	Alzheimer	Alta
PA-MRJ-06	Javier	Rodriguez	Mena	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	23659874	5523698741	H	Jubilado	Alzheimer	Baja
PA-NMA-07	Angelica	Mendoza	Nava	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	36958741	5536941212	M	Ama de casa	Alzheimer	Alta
PA-PGR-08	Rene	Gomez	Perez	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	55321478	5598745632	H	Profesor	Alzheimer	Baja
PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	Piedras	Roma	Iztapalapa	02020	53152632	5314789654	H	Jubilado	Alzheimer	Alta
PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	panteones	Pedregal	Iztapalapa	01010	53152634	5314213654	M	Ama de casa	Alzheimer	Alta
PB-GPM-02	Martina	Perez	Galindo	Panteones	Pedregal	Iztapalapa	01010	53203636	5315246893	M	Profesor	Alzheimer	Baja
PB-LJI-10	Ivan	Lopez	Juarez	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	55987412	5512369845	H	Jubilado	Alzheimer	Baja
PB-LLO-09	Oscar	Lima	Lima	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	55362198	5589741235	H	Profesor	Alzheimer	Baja
PB-RED-05	Daniel	Echeverria	Rojas	Naranja	Perales	Iztapalapa	10236	53154263	5314253698	H	Jubilado	Alzheimer	Baja

Marcar todos/as / Desmarcar todos Para los elementos que están marcados:

Mostrar: 30 filas empezando de 0 y repetir los encabezados cada 100 celdas

horizontal

acciones sobre los resultados de la consulta

Figura 5.25. Tabla de usuarios.

En la figura 5.26 se muestra la tabla reportes y está conformada por todos sus atributos como: id, nombre, apellido paterno, apellido materno, fecha y hora en que se realizó el mensaje y prioridad.

The screenshot displays a web application interface for managing reports. At the top, there is a navigation menu with 'Reportes' selected. Below the menu is a toolbar with various actions: 'Eliminar', 'Vaciar', 'Operaciones', 'Importar', 'Exportar', 'Insertar', 'Tracking', 'Buscar', 'SQL', and 'Reportes'. The main content area shows a table of reports with the following columns: 'id', 'nombre', 'apellido', 'fecha', and 'prioridad'. The table contains 10 rows of data. Below the table, there are controls for pagination and display options, including a 'Mostrar' dropdown set to '30' and a 'Perfil/Perfilamiento' checkbox. At the bottom, there is a status bar indicating 'Mostrando registros 0 - 8 (-9) total. La consulta tardó 0.0007 seg'.

id	nombre	apellido	fecha	prioridad
PA-PGR-08	Rene	Gomez	2013-10-25 13:58:30	Baja
PA-PGR-08	Rene	Gomez	2013-11-13 13:45:08	Baja
PA-PGR-08	Rene	Gomez	2013-11-13 13:45:43	Baja
PA-PGR-08	Rene	Gomez	2013-11-13 13:46:37	Baja
PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	2013-11-13 13:50:45	Alta
PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	2013-11-13 13:56:57	Alta
PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	2014-07-23 22:24:21	Alta
PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	2014-07-23 22:25:25	Alta
PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	2014-07-23 22:26:11	Alta

Figura 5.26. Tabla de reportes.

En el entorno MySQL todo usuario, de la base de datos, queda identificado por un nombre, una contraseña y un servidor para realizar la conexión. Cuando se establece una conexión puede ejecutarse en el mismo dispositivo en el que está instalado MySQL (*localhost*) o desde un equipo remoto (*remote host*).

### 5.2.2. Comunicación a la base de datos MySQL y al SIG Google Maps.

La comunicación que existe entre la base de datos y el navegador se basa en el modelo cliente/servidor, es decir, el usuario hace una petición para realizar una consulta al servidor donde se encuentra almacenada la base de datos (servidor MySQL), esta comunicación se realiza por medio de la API de PHP, donde la API define las clases, métodos, funciones y variables que la aplicación necesita llamar para realizar una tarea, cabe mencionar que PHP no necesita ser procesado por ningún tipo de compilador, y es ejecutado por el servidor a través de un intérprete.

La API de PHP MySQL, es la que se encarga de conectarse con al servidor MySQL, el código que se muestra a continuación crea una conexión al servidor.

```
<?
    $host="localhost";
    $usuario="root";
    $password="*****";
    $nombrebd="usuario";
    $conectar=mysql_connect($host,$usuario,$password);
    mysql_select_db($nombrebd,$conectar);
?>
```

La función *mysql\_connect*, contiene la información del *\$host* (computadora donde está almacenada la base de datos), *\$usuario* (nombre del usuario que desea ingresar a la base de datos) y *\$password* (contraseña que se necesita para poder ingresar).

La función *mysql\_select\_db* realiza la conexión con la base de datos, donde *\$nombrebd* es el nombre de la base de datos con la que deseamos establecer una conexión, y *\$conectar* contiene la información necesaria para realizar la conexión (*mysql\_connect*).

La figura 5.27 muestra la comunicación que existe entre el navegador y la base de datos por medio de PHP.

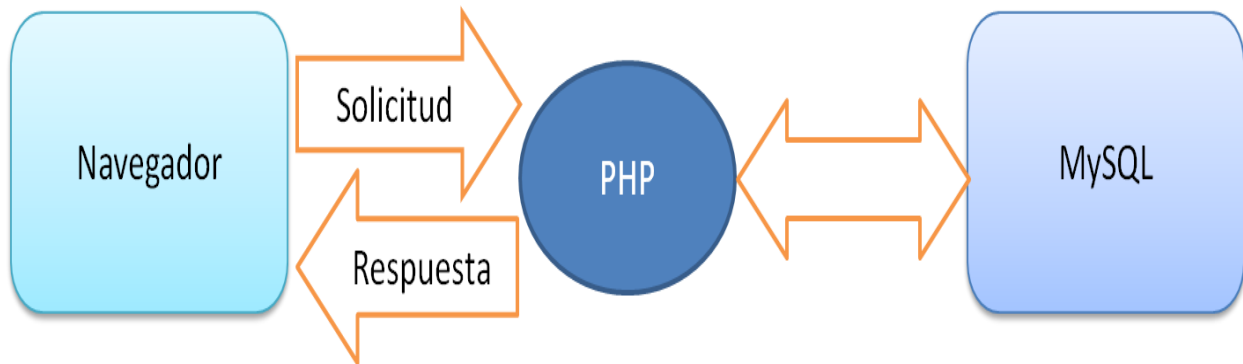


Figura 5.27. Comunicación entre el navegador y MySQL por medio de PHP.

Al ya establecer una conexión con la base de datos MySQL, se pueden realizar consultas a las tablas que lo conforman mediante las cláusulas SQL, es decir, consideremos una consulta por medio de las cláusulas que se describieron en la sección 3.1.4, para obtener de la tabla usuarios los usuarios con el apellido paterno Rodríguez.

```
$sql="Select * From usuarios where apellidoP = '$Rodriguez' ";
```

Donde la cláusula *Select* indica los campos de la tabla que queremos obtener (apellidoP), *From* indica en que tabla se encuentran estos campos (tabla usuarios) y *where* establece la condición de la consulta, es decir, todas los usuarios que tengan como apellido paterno Rodríguez.

La interacción entre el navegador y MySQL por medio de PHP es la siguiente:

- ✧ El usuario encargado del CAL, pulsa sobre un enlace solicitando una consulta a la base de datos MySQL y el navegador envía la solicitud al servidor empleando el protocolo HTTP.
- ✧ Llega la solicitud al servidor MySQL y entiende que se trata de un código PHP debido a la extensión .php y se ejecuta el intérprete.
- ✧ El intérprete ejecuta el código y genera un resultado (habitualmente una página HTML) que se devuelve al servidor MySQL para que éste a su vez lo transfiera al CAL.
- ✧ Se visualiza la consulta en el navegador.

Al igual que la comunicación entre el CAL y la base de datos MySQL, las API de Google *Maps* nos permiten realizar la comunicación entre el CAL y el servidor de Google *Maps* para insertar mapas de forma gratuita en nuestra propia página *web* por medio del lenguaje de programación *JavaScript*. Para insertar un mapa a una página *web*, necesitamos de una clave de uso a Google. Con esta clave es posible acceder a los mapas e incluirlo en la página *web*, donde el *script* que se muestran a continuación crea una conexión al servidor.

```
<script type="text/javascript" src="http://maps.google.com/maps/api/js?sensor=true">
</script>
```

El apartado *sensor=true* indica a Google que el dispositivo que usa el mapa, tiene un módulo que determina la localización, por ejemplo un receptor GPS. También se deben de definir las coordenadas geográficas, en un sistema de referencia que permite ubicar el sitio donde se desea apuntar el mapa. Por lo tanto, debemos especificar la latitud y longitud del lugar que deseamos ver en el mapa en las siguientes líneas mostradas a continuación:

```
var ubicacion = new google.maps.LatLng(latitud,longitud);
var parliament = new google.maps.LatLng(latitud,longitud);
```

Donde *new google.maps.LatLng* define las coordenadas del lugar que deseamos ver en el mapa.

La comunicación que existe entre el navegador y el servidor de Google *maps*, se muestra en la figura 5.28.

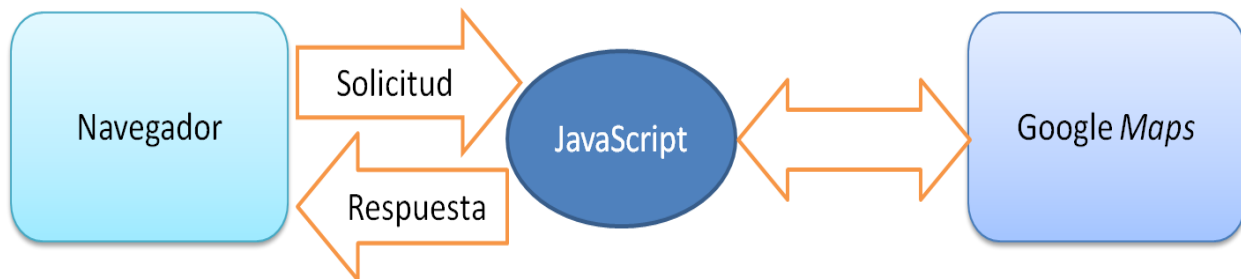


Figura 5.28. Comunicación entre el navegador y Google *Maps*.

Como el módulo GPS LR9552 y Google *Maps* ocupan formatos de coordenadas geográficas diferentes es necesario realizar una conversión de las coordenadas que emite el GPS para que puedan ser interpretadas en el servidor de Google *Maps*

El módulo GPS LR9552 utiliza el formato de coordenadas UTC en Grados y minutos decimales (DDMM.mmmm) y Google *Maps* utiliza el formato de coordenadas Grados decimales (DDD.mmm). Como no son compatibles entre ellas, se requiere hacer una conversión para el cambio de coordenadas, esto lo logramos usando las siguientes ecuaciones [12]:

$$Gd(latitud) = Grados(^{\circ}) + \left(\frac{\text{min}}{60}\right) \quad (5.1)$$

$$Gd(longitud) = \left[ Grados(^{\circ}) + \left(\frac{\text{min}}{60}\right) \right] (-1) \quad (5.2)$$

Utilizando los datos que obtuvimos con el GPS LR9552 de latitud de 1921.4453N y longitud de 09859.9997W en una de las pruebas realizadas con este receptor, se muestra un ejemplo del cambio de coordenadas del formato de grados y minutos decimales (DDMM.mmmm) a grados decimales (DDD,mmm):

$$Lat : 1921.4586N (Gmd)^* \rightarrow 19 + \left( \frac{21.4586}{60} \right) = 19 + 0.357643 = 19.357643 (Gd)$$

$$Long : 09859.5539W (Gmd)^* \rightarrow \left[ 98 + \left( \frac{59.5539}{60} \right) \right] (-1) = (98 + 0.992565) (-1) = -98.992565 (Gd)$$

Como se observa en la fórmula 5.2 al final se multiplica por un -1 debido a la posición geográfica donde se encuentra ubicado México, ya que está localizado a la izquierda del Meridiano de Greenwich y por encima del Ecuador como se muestra en la figura 5.29.

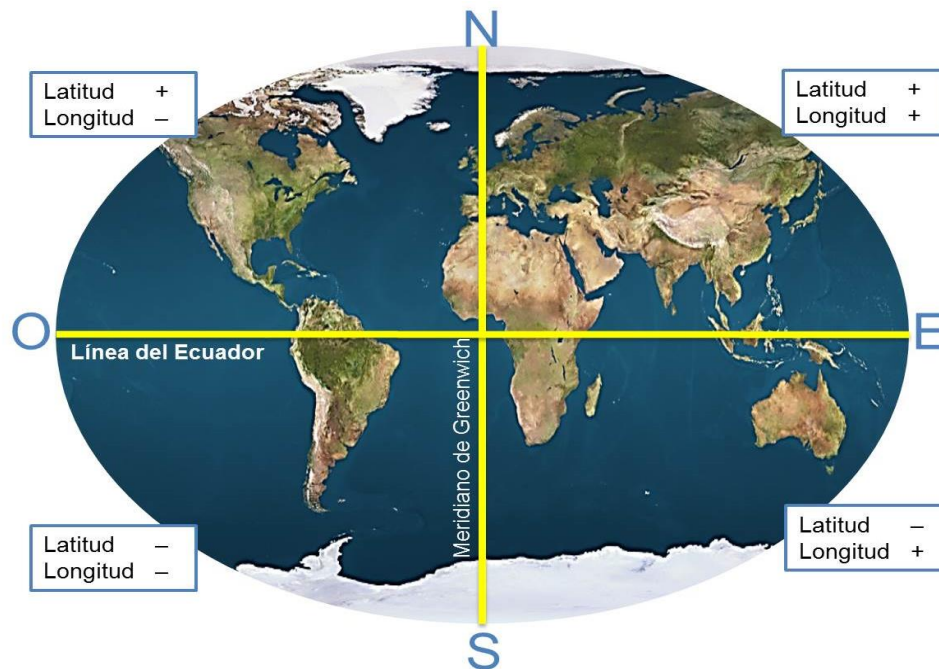


Figura 5.29. Asignación de signos debido a la distribución geográfica.

### 5.2.3. Comunicación entre CAL y el DML.

La comunicación que existe entre el CAL y el DML, se basa en el modelo cliente/servidor. En este caso el CAL funge como servidor debido a que las peticiones las hace el DML (cliente). La comunicación se realiza por medio de programación en *sockets* en PHP. Para la comunicación por *socket* se requiere una dirección IP, un puerto y un protocolo de comunicaciones; orientada a conexión (TCP) llamada *stream sockets*.

Las primitivas de *sockets* que se utilizan para TCP para realizar una conexión del CAL y el DML, se muestran de forma secuencial en la tabla 5.8. Es importante mencionar que estos comandos son del lado del servidor.

Primitiva	Significado
<i>socket_create(AF_INET, SOCK_STREAM, 0).</i>	Con <i>socket_create</i> se crea un punto terminal de comunicación y con <i>sock_stream</i> establecemos que es un socket orientada a conexión (TCP) con el que vamos a trabajar.
<i>socket_bind(\$socket, \$direccion, \$puerto).</i>	Con <i>socket_bind</i> adjunta una dirección local a un <i>socket</i> , aquí se establece la dirección IP del DML al cual queremos hacer la conexión y el puerto con el que vamos a trabajar, es importante hacer ver que el puerto de la computadora siempre debe de estar abierto para atender los llamados de los usuarios.
<i>socket_listen(\$socket).</i>	Con <i>socket_listen</i> anuncia la disposición para aceptar conexiones entrantes al <i>socket</i> .
<i>socket_accept(\$socket).</i>	Con <i>socket_accept</i> acepta la conexión entrante al <i>socket</i> .
<i>socket_read</i>	Leemos el mensaje del cliente (DML), donde viene la latitud, longitud, hora y fecha del mensaje \$GPRMC y el ID (identificador de usuario)

Tabla 5.8. Primitivas de sockets que se utilizan en TCP para realizar una conexión.

Al contar con la información necesaria del mensaje \$GPRMC (latitud, longitud, hora y fecha) se establece una comunicación con *Google Maps* para visualizar por medio de un mapa la ubicación de las coordenadas. Además se obtiene el identificador de usuario y por medio de este ID se realiza una consulta a la base de datos para obtener su información. En la figura 5.30 se muestra la comunicación entre el CAL y el DML.

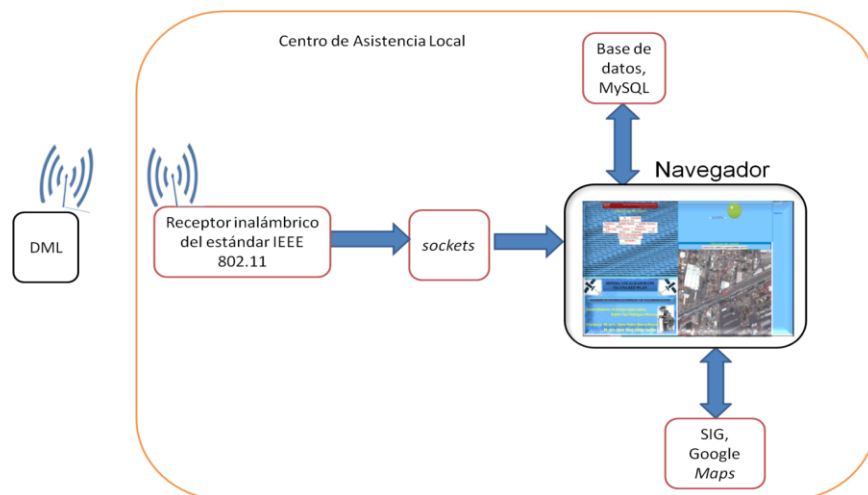


Figura 5.30. Comunicación entre el CAL y el DML.

### 5.2.4. Descripción de los elementos de la interfaz gráfica del CAL.

En la figura 5.31 se muestra la pantalla principal con la que interactuará el encargado del sistema de gestión.

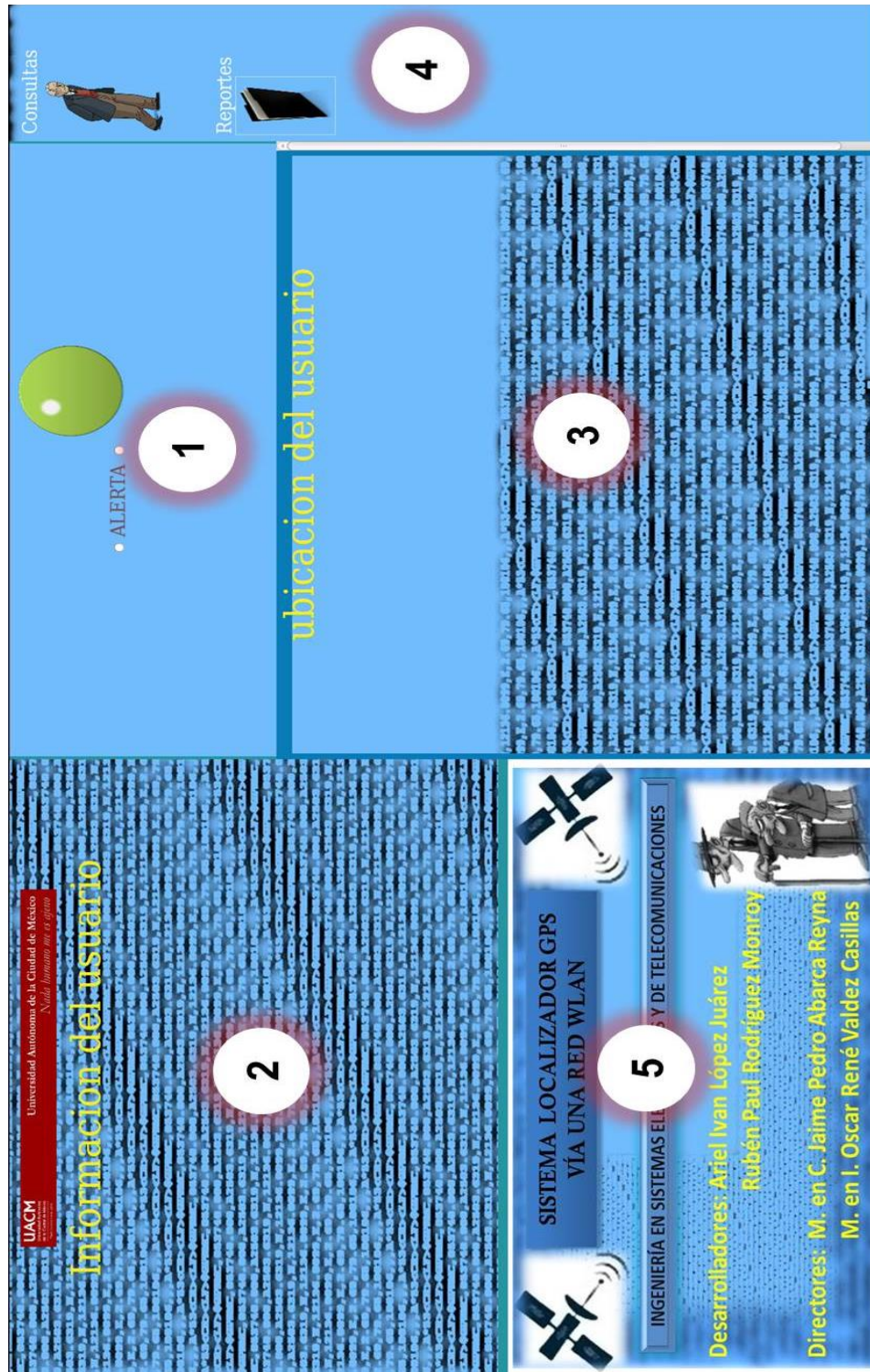


Figura 5.31. Pantalla principal: 1.- Botón de alerta. 2.- Información o datos de usuario, 3.- Ubicación de usuario, 4.- Enlace de consultas y reportes y 5.- Integrantes del equipo.

A continuación se detallan cada una de las ventanas.

1.- Botón de alerta: Es el encargado de avisar al encargado del CAL cuando un mensaje de auxilio es emitido. El botón de alerta permanece en color verde en tanto no se reciba mensaje alguno. El botón de alerta cambia a color rojo y despliega una tabla con la información sustancial de la trama GPRMC (latitud, longitud, fecha y hora en que se emitió el mensaje), en cuanto se recibe un mensaje de auxilio. En ese momento la persona a cargo podrá pulsar el botón para visualizar la información y ubicación del usuario que emitió el mensaje figura 5.32.



Figura 5.32. Botón de alerta en espera y botón cuando recibe un mensaje de auxilio.

2.- Información o datos del usuario: Se visualiza la información del usuario que envió un mensaje de auxilio. La información que se muestra es la siguiente: ID, prioridad, nombre, apellido paterno, apellido materno, calle, colonia, delegación, código postal, teléfono de casa, teléfono de responsable e información médica, en la figura 5.33 se muestra dicha información.



Figura 5.33. Información del usuario.

3.- Ubicación del usuario: en este apartado se visualizará la ubicación de usuario que emitió el mensaje de auxilio, por medio de la comunicación al servidor de Google Maps, figura 5.34.



Figura 5.34. Ubicación del usuario.

4.- Enlace de consultas y reportes. En este apartado se puede visualizar la pantalla consultas y reportes dando un click sobre las imágenes que se encuentran abajo del texto consultas (persona adulta) y reportes (folder). Este apartado se puede observar en la figura 5.35.

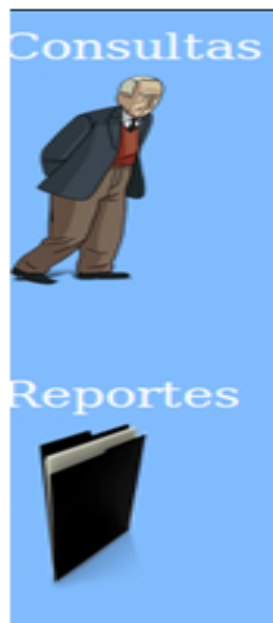


Figura 5.35. Enlace consultas y reportes.

5.- Desarrolladores. En este apartado se muestran los profesores y estudiantes que colaboraron en el desarrollo del proyecto, figura 5.36.

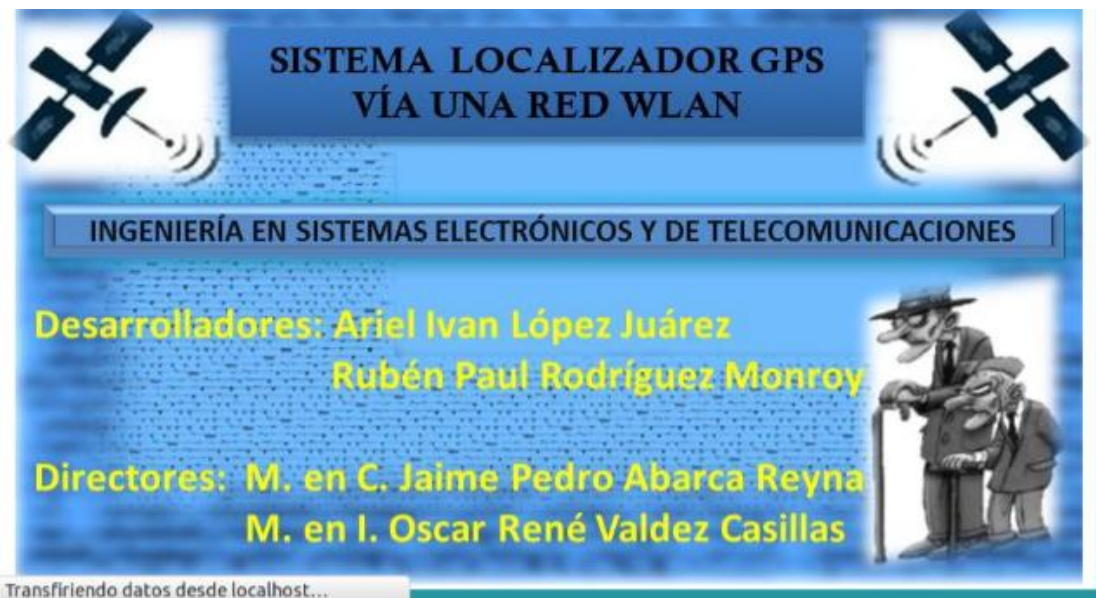


Figura 5.36. Desarrolladores del proyecto.

En la figura 5.37 se muestra la pantalla de consultas con la que interactuara el encargado del CAL.



A continuación describimos las ventanas de la pantalla de consultas.

1.- Las consultas se pueden realizar por cuatro criterios: id de usuario, apellido paterno, prioridad o mostrar todo,

La consulta por id de usuario consiste en hacer la búsqueda por medio del identificador del usuario, este identificador es único y está ligado con toda la información del usuario, figura 5.38.

consultar

<b>ID</b>		<b>Prioridad</b>	
PA-NMA-07		Alta	
<b>Nombre(s)</b>	<b>Apellido Paterno</b>	<b>Apellido Materno</b>	
Angelica	Mendoza	Nava	
<b>Calle Num.</b>	<b>Colonia</b>	<b>Delegacion</b>	<b>CP</b>
san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125
<b>Tel.Casa</b>	<b>Tel.responsable</b>		
36958741	5536941212		
<b>Inf.Medica</b>			
Alzheimer			

Figura 5.38. Consultas por ID.

La consulta por apellido paterno muestra todos los usuarios con ese apellido mostrando toda la información del usuario, figura 5.39.

ID	Prioridad	Nombre(s)	Apellido Paterno	Apellido Materno	Calle Num.	Colonia	Delegacion	CP	Tel.Casa	Tel.responsable	Inf.Medica
PA-APM-12	Alta	Mayra	Perez	Alvarez	union	san Nicolas	Iztapalapa	14582	53216978	55786315	Alzheimer
PA-PPO-14	Alta	Oscar	Perez	Perez	fernandez	san cosme	Iztapalapa	02125	51236987	5578965412	Alzheimer
PA-RPAB-04	Alta	Ana Belen	Perez	Roldan	panteones	Pedregal	Iztapalapa	01010	53152634	5314213654	Alzheimer
PB-CPG-13	baja	Geovany	Perez	Carrasco	contreras	doctores	Iztapalapa	14587	52301478	557896412	Alzheimer
PB-GPM-02	Baja	Martina	Perez	Galindo	Panteones	Pedregal	Iztapalapa	01010	53203636	5315246893	Alzheimer
PB-MPP-11	Baja	Paul	Perez	Monroy	san pablo	san cosme	Iztapalapa	02125	25369874	5523698745	Alzheimer
PB-RAP-15	Baja	Rene	Perez	Armeaga	Vascocelos	Doctores	Iztapalapa	14785	14785236	5569874122	Alzheimer

Figura 5.39. Consultas por apellido paterno.

La consulta por prioridad, donde la prioridad puede ser alta o baja; y se establece por el nivel de enfermedad o características que presenta cada usuario, dando preferencia a los usuarios que tengan prioridad alta, en la figura 5.40 se muestra una consulta de prioridad alta.

ID	Prioridad	Nombre(s)	Apellido Paterno	Apellido Materno	Calle Num.	Colonia	Delegacion	CP	Tel.Casa	Tel.responsable	Inf.Medica
PA-MRAE-01	Alta	Arturo Enrique	Roman	Monroy	Xochinahuac	San Pablo Xalpa	iztapalapa	02210	53192099	5319209999	Alzheimer
PA-NMA-07	Alta	Angelica	Mendoza	Nava	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	36958741	5536941212	Alzheimer
PA-RAR-03	Alta	Rogelio	Aguilar	Ramirez	Piedras	Roma	Iztapalapa	02020	53152632	5314789654	Alzheimer
PA-RPAB-04	Alta	Ana Belen	Perez	Roldan	panteones	Pedregal	Iztapalapa	01010	53152634	5314213654	Alzheimer

Figura 5.40. Consultas por prioridad.

Finalmente, mostrar todo, despliega toda la información de todos los usuarios registrados en la base de datos, figura 5.41.

ID	Prioridad	Nombre(s)	Apellido Paterno	Apellido Materno	Calle Num.	Colonia	Delegacion	CP	Tel.Casa	Tel.responsable	Inf.Medica
PA-MRAE-01	Alta	Arturo Enrique	Roman	Monroy	Xochinahuac	San Pablo Xalpa	iztapalapa	02210	53192099	5319209999	Alzheimer
PA-MRJ-06	Baja	Javier	Rodriguez	Mena	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	23659874	5523698741	Alzheimer
PA-NMA-07	Alta	Angelica	Mendoza	Nava	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	36958741	5536941212	Alzheimer
PA-PGR-08	Baja	Rene	Gomez	Perez	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	55321478	5598745632	Alzheimer
PA-RAR-03	Alta	Rogelio	Aguilar	Ramirez	Piedras	Roma	Iztapalapa	02020	53152632	5314789654	Alzheimer
PA-RPAB-04	Alta	Ana Belen	Perez	Roldan	panteones	Pedregal	Iztapalapa	01010	53152634	5314213654	Alzheimer
PB-GPM-02	Baja	Martina	Perez	Galindo	Panteones	Pedregal	Iztapalapa	01010	53203636	5315246893	Alzheimer
PB-LJI-10	Baja	Ivan	Lopez	Juarez	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	55987412	5512369845	Alzheimer
PB-LLO-09	Baja	Oscar	Lima	Lima	san jeronimo	pedregal	iztapalapa	02125	55362198	5589741235	Alzheimer

Figura 5.41. Se visualizan todos los usuarios registrados en la base de datos.

2.- Botón de alerta. El botón de alerta cumple con la misma función que la pantalla principal de avisar al encargado del CAL cuando un mensaje de auxilio es emitido y es primordial mantenerlo presente en todo momento.

En la figura 5.42 se muestra la pantalla de reportes, dividida en tres ventanas.

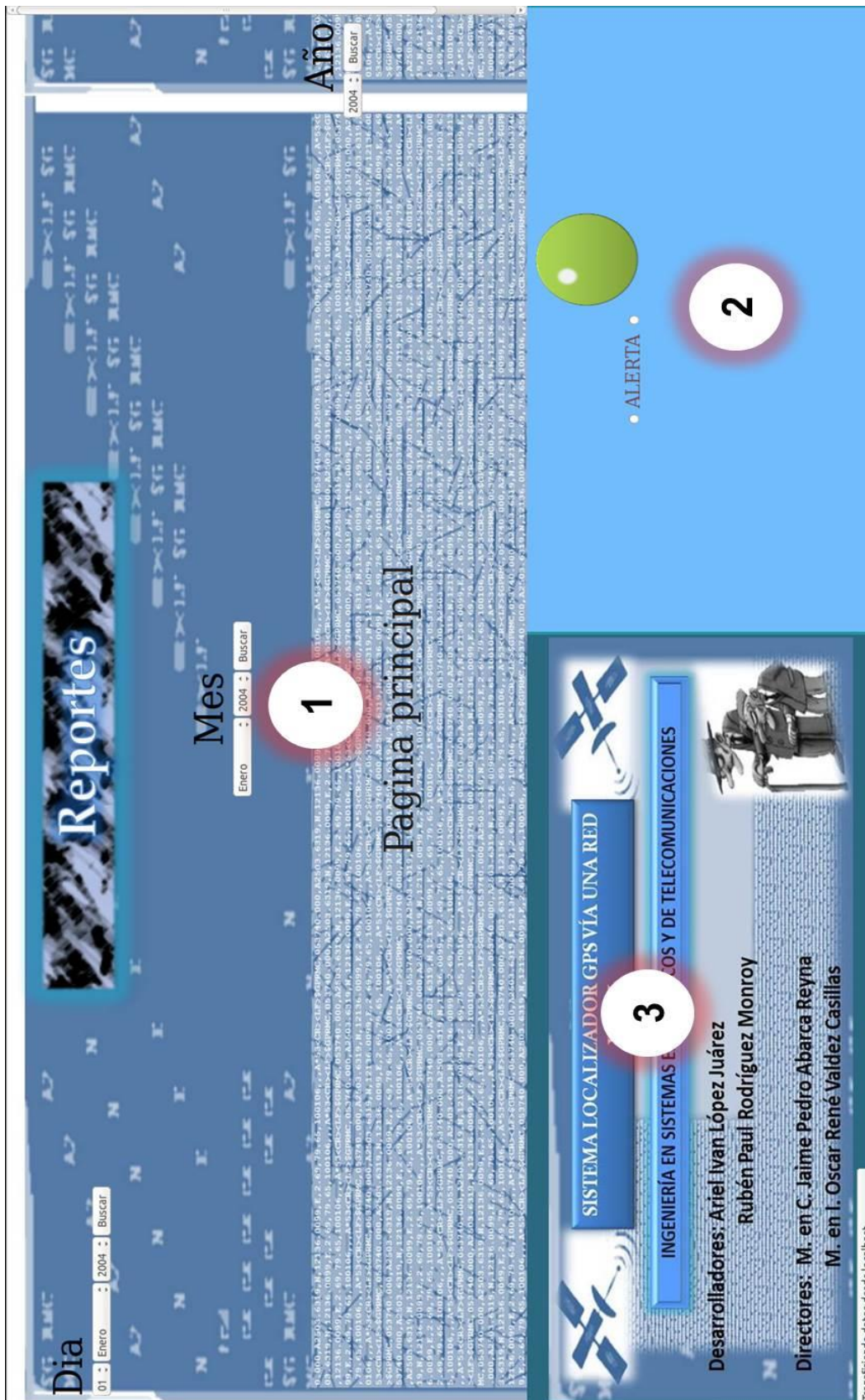


Figura 5.42. Pantalla de reportes: 1.- Reportes por día, mes y año, 2.- Botón de alerta y 3.- Integrantes del equipo.

1.- Consultas por día, mes y año. En esta ventana podemos obtener reportes sobre los mensajes de auxilio recibidos y el estado de estos. El reporte se puede obtener por día, mes y año. Por ejemplo, queremos un reporte por día, el día 15 de septiembre de 2014 obtenemos la información de la figura 5.43.

ID	Prioridad	Nombre(s)	Apellido Paterno	Apellido Materno	fecha
PA-RPAB-04	Alta	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-15 16:59:17
PA-MRAE-01	Alta	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-15 15:58:36
PB-RED-05	Baja	Daniel	Echeverria	Rojas	2014-09-15 18:00:57
PB-GPM-02	Baja	Martina	Perez	Galindo	2014-09-15 20:25:23
PA-APM-12	Alta	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-15 14:56:18
PB-LLO-09	Baja	Oscar	Lima	Lima	2014-09-15 17:30:05
PB-MPP-11	Baja	Paul	Perez	Monroy	2014-09-15 19:15:35
PA-RAR-03	Alta	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-15 12:54:35

Figura 5.43. Reportes por día.

2.- Botón de alerta. Cumple con la misma función que en la pantalla principal de avisar al encargado del CAL cuando un mensaje de auxilio es emitido.

Es importante mencionar que en cuanto se pulsa el botón de alerta para visualizar la información y ubicación del usuario donde se emitió el mensaje de auxilio, la información se almacena en la base de datos para un control de los mensajes de auxilio que se emitieron para generar los reportes acerca de los mensajes que se han recibido, por ejemplo en la figura 5.44 se observan los mensajes que se recibieron el día 23-07-2014.

+ Opciones						
	id	nombre	apellido p	apellido m	fecha	prioridad
<input type="checkbox"/>	PA-PGR-08	Rene	Gomez	Perez	2013-10-25 13:58:30	Baja
<input type="checkbox"/>	PA-PGR-08	Rene	Gomez	Perez	2013-11-13 13:45:08	Baja
<input type="checkbox"/>	PA-PGR-08	Rene	Gomez	Perez	2013-11-13 13:45:43	Baja
<input type="checkbox"/>	PA-PGR-08	Rene	Gomez	Perez	2013-11-13 13:46:37	Baja
<input type="checkbox"/>	PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2013-11-13 13:50:45	Alta
<input type="checkbox"/>	PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2013-11-13 13:56:57	Alta
<input type="checkbox"/>	PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-07-23 22:24:21	Alta
<input type="checkbox"/>	PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-07-23 22:25:25	Alta
<input type="checkbox"/>	PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-07-23 22:26:11	Alta

Figura 5.44. Generación de la tabla de reportes.

### 5.3. Integración del sistema.

La comunicación entre el Dispositivo Móvil Localizador y el Centro de Asistencia Local es por medio de una red WLAN basada en el estándar IEEE802.11 b/g. en la figura 5.45 presentamos el diagrama lógico de la red propuesta.

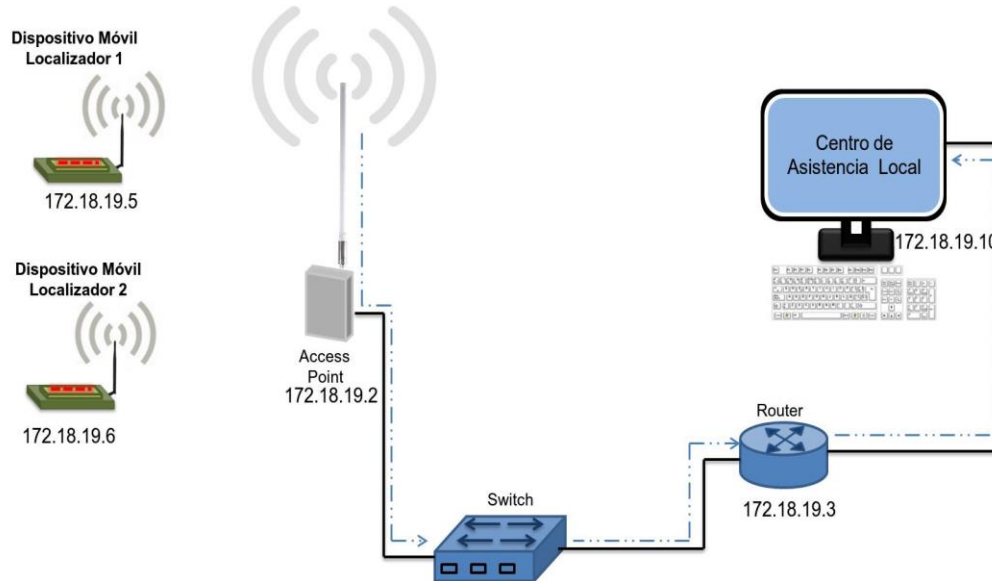


Figura 5.45. Diagrama lógico de la red.

Con la finalidad de realizar pruebas en la vía pública utilizamos un *Access Point* Cisco WAP200E [13] y una antena omnidireccional *Wireless INT* modelo 502306 [14]. En el anexo A se muestra la configuración del *Access Point*.

En la figura 5.46 presentamos la red física.

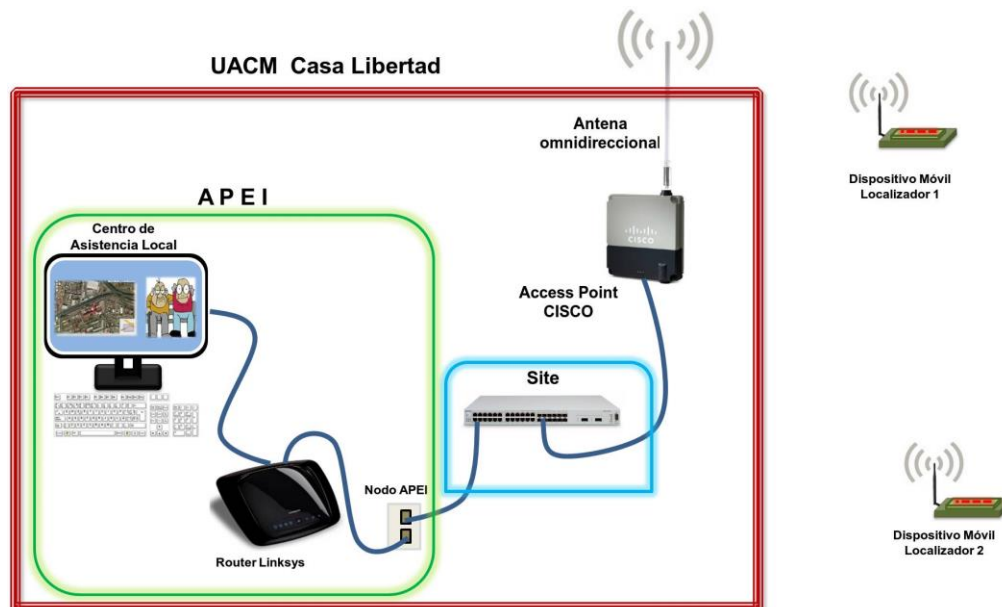


Figura 5.46. Diagrama físico de la red.

En la figura 5.46 se observa nuestra red basada en la topología de tipo infraestructura con una comunicación cliente/servidor. A continuación se detallan las direcciones IP en la tabla 5.9 de los diferentes elementos que conforman la red.

Elementos de la red	Dirección IP
Dispositivo Móvil Localizador 1	172.18.19.5
Dispositivo Móvil Localizador 2	172.18.19.6
Cisco WAP200E	172.18.19.2
Router Linksys	172.18.19.3
Centro de Asistencia Local	172.18.19.10

Tabla 5.9. Tabla de direcciones IP de los diferentes elementos que conforman la red.

### 5.3.1. Análisis de la cobertura de la red.

En los sistemas inalámbricos existe un parámetro que se conoce como: cobertura [15]. La cobertura se refiere al alcance de la red, es el área geográfica en la que los usuarios reciben un servicio con una cierta calidad QoS [16].

El parámetro cobertura, nos permite conocer la distancia máxima posible que se podría lograr desde la antena del transmisor hasta un punto a una distancia  $d$  donde se encuentra la antena receptora, figura 5.47.

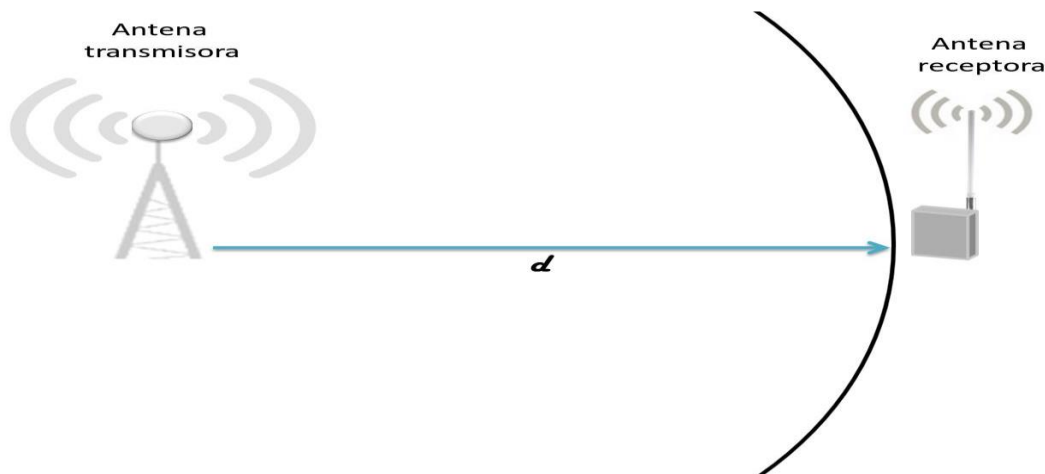


Figura 5.47. Cobertura, distancia entre la antena transmisora y antena receptora.

Para determinar la cobertura debemos calcular la potencia recibida a una distancia  $d$  por medio de la ecuación 5.3.

$$P_{RX} = P_{TX} - |P_L| \quad (5.3)$$

donde:

$P_{RX}$ : La potencia recibida en dBm a una distancia  $d$

$P_{TX}$ : La potencia de transmisión en dBm

$P_L$ : Pérdidas por trayectoria

Para calcular las pérdidas por trayectoria podemos utilizar un modelo para exteriores como:

- ✖ Okumura-Hata [17].
- ✖ Cost 231[18].
- ✖ Friis [19].
- ✖ IMT2000 [16].
- ✖ Walfisch [20].
- ✖ Lee [21].

Por simplicidad utilizaremos el modelo de Friis, que nos permite obtener una cota inferior, debido a que la trayectoria de la señal se encuentra libre, es decir, sin obstáculos y el modelo IMT2000 (*International Mobile Telecommunication-2000*), desarrollado por la ITU en 1985 llamado FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunication Systems*), conocido actualmente como IMT2000. Los modelos IMT2000 están divididos en ambiente interior, exterior-interno y ambiente vehicular este último ocupado para el análisis de la cobertura de la red.

El modelo de FRIIS se representa por la ecuación 5.4.

$$P_L = -32.4 + G_{Tx} + G_{Rx} + 20 \log_{10}(f_{MHz}) - 20 \log_{10}(d_{Km}) \quad (5.4)$$

donde:

$P_L$ : pérdidas por trayectoria.

$G_{Tx}$ : ganancia de la antena transmisora.

$G_{Rx}$ : ganancia de la antena receptora.

$f_{MHz}$ : valor de la frecuencia en MHz.

$d_{Km}$ : distancia entre las antenas en Kilómetros.

Mientras que el modelo IMT2000 se calcula con la ecuación 5.5.

$$L_{50} = 40(1 - 4 \times 10^{-2} \Delta h_b) \log d - 18 \log(\Delta h_b) + 21 \log f_c + 80dB \quad (5.5)$$

donde:

$\Delta h_b$ : es la altura promedio de la antena.

$d$ : distancia entre las antenas en kilómetros.

$f_c$ : valor de la frecuencia en MHz.

Para calcular las pérdidas por trayectoria, la potencia recibida y la potencia de transmisión requerimos de ciertos valores de los elementos de nuestra red. Estos valores se muestran en la tabla 5.10.

Parámetros	Valor
Frecuencia con la que se realiza la comunicación (IEEE802.11b/g)	2.4GHz
Distancia en Km	1 a 10Km
Ganancia de la antena transmisora ( <i>Wireless</i> INT. omnidireccional)	12dBi
Ganancia de la antena receptora (antena del módulo MT810SWM-IP)	5dBi
Sensibilidad del receptor (MT810SWM-IP)	-82dBm
Potencia de transmisor (Cisco WAP200E)	17dBm
Altura de la antena (parámetro para el modelo IMT2000)	3 metros

Tabla 5.10. Valores para la simulación en MATLAB.

Utilizaremos la herramienta MATLAB [22] para desarrollar una simulación de la cobertura de nuestra red utilizando los dos modelos descritos anteriormente. El resultado se muestra en la figura 5.48.

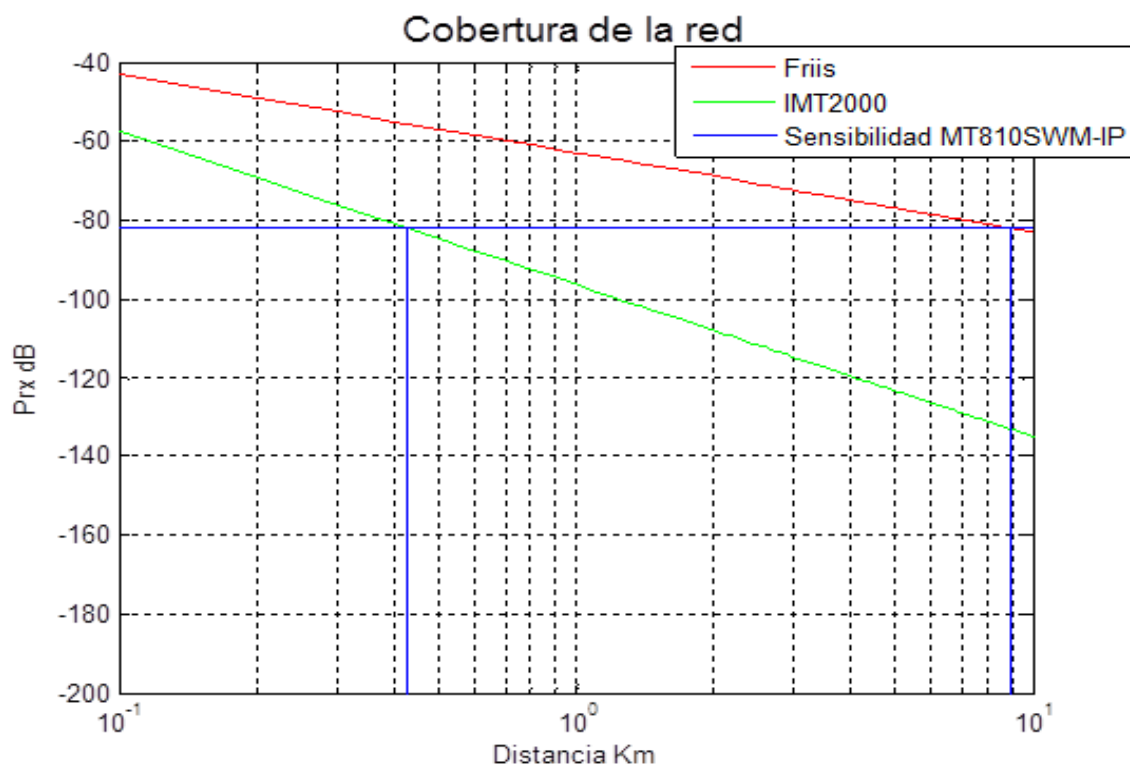


Figura 5.48. Resultados obtenidos para la cobertura de la red.

Observamos:

- ✘ El modelo IMT2000 tiene más pérdidas que el modelo de Friis debido a que el modelo IMT2000 contempla la presencia de obstáculos.
- ✘ Debido al punto anterior la distancia fue mucho menor en el caso del modelo IMT2000 que en el modelo de Friis, las líneas horizontales muestran la distancia de ambos modelos dando para Friis 9 Kilómetros y para IMT2000 425 metros.
- ✘ Las distancias que se obtuvieron fueron a una potencia de recepción de -82dBm, esto debido a que es el valor de la sensibilidad del receptor MT810SWM-IP, y la sensibilidad es la potencia mínima que requiere el receptor para ofrecer un buen servicio.
- ✘ En el modelo Friis las pérdidas se incrementan a 6dB cuando la distancia se duplica.
- ✘ En el modelo IMT2000 las pérdidas se incrementan a 11dB cuando la distancia se duplica.
- ✘ Por último, es importante mencionar que en la simulación realizada se ocupó una frecuencia fija ( $f=2400\text{MHz}$ , estándar IEE802.11) y una superficie ya establecida (urbana), pero dependiendo de las frecuencias y del tipo de escenario, va a cambiar significativamente las pérdidas por trayectoria de los modelos de propagación ocupados para este proyecto y por tanto también la distancia.

#### 5.4. Pruebas de cobertura.

Con la finalidad de verificar los resultados obtenidos en la simulación, realizaremos algunas pruebas en los alrededores del plantel Casa Libertad, ubicado en la delegación Iztapalapa, de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; cada prueba consiste en:

- ✘ Ubicarnos en un lugar cercano al plantel para emitir un mensaje de auxilio.
- ✘ Verificar la recepción del mensaje en el CAL, ubicado dentro del plantel Casa Libertad, ver figura 5.49.
- ✘ Atender la alerta obteniendo en pantalla la ubicación del lugar donde se generó el mensaje.
- ✘ Generar 10 alertas por cada sitio, con la finalidad de generar un reporte.



Figura 5.49. Verificación de la activación del botón en el CAL dentro del plantel Casa Libertad.

Figura 5.49. Verificación de la activación del botón en el CAL dentro del plantel Casa Libertad.

Las pruebas se realizaron en los siguientes sitios:

- ✘ Sitio 1. El puente peatonal ubicado entre las calles Luis Cervantes y calzada Ignacio Zaragoza.
- ✘ Sitio 2. El puente peatonal que se encuentra ubicado frente al Elektra sobre la avenida Ermita Iztapalapa casi esquina con la calle Santiago.
- ✘ Sitio 3. En el estacionamiento de la tienda de autoservicio Soriana, que se encuentra sobre la avenida Ermita Iztapalapa entre las calles Del Consuelo y Rafael Reyes.

En la figura 5.50 se muestra un mapa con los 3 sitios en los que se realizaron las pruebas.

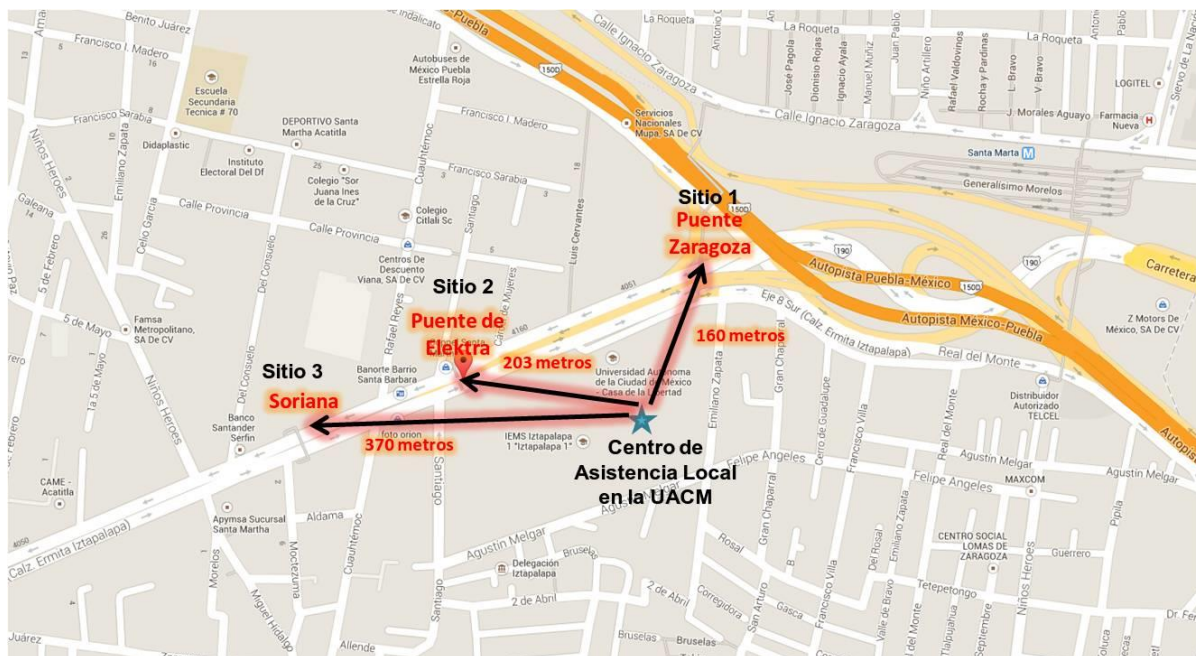


Figura 5.50. Ubicación de los lugares donde se realizaron las pruebas de cobertura.

En la tabla 5.11 siguiente se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en los 3 sitios.




Sitio	Activación de botón	Distancia	Hora
1		160 metros	10:16:29
2		203 metros	11:22:35
3		370 metros	12:27:51

Tabla 5.11. Activación de los mensajes de alerta en los tres sitios de prueba.

En la tabla apreciamos el botón de alerta en color rojo, indicativo que se recibió un mensaje de auxilio. Los 10 mensajes que se emitieron de cada sitio se recibieron correctamente en el CAL, por lo que consideramos no es necesario reportarlos.

En la figura 5.51 se muestran las capturas en pantalla sobre la ubicación donde se generó el mensaje de auxilio para cada uno de los 3 sitios. En cada figura podemos observar que se encuentra señalado el Centro de Asistencia Local dentro de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, el lugar o sitio donde se emitió cada mensaje de auxilio, la distancia que hay entre este último y el CAL y las coordenadas de latitud y longitud.



Figura 5.51. Mapas de los lugares donde se generaron los mensajes de auxilio: a) puente de Zaragoza, b) puente frente al Elektra y c) estacionamiento del Soriana.

A pesar de que no se reportan las capturas en pantalla de los 10 mensajes de alerta generados en cada sitio, presentamos el reporte derivado de las alertas generadas en los tres sitios.

			id	nombre	apellidop	apellidom	fecha	prioridad
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:00:37	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:03:16	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:06:53	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:09:05	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:12:16	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:15:35	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:18:47	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:21:45	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:24:27	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 10:27:19	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:00:55	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:03:33	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:06:40	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:09:49	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:12:55	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:15:02	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:18:09	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:21:16	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:24:22	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 11:27:55	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:01:40	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:03:59	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:06:55	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:09:02	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:12:08	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:15:15	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:18:22	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:21:29	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:24:37	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-02 12:27:45	Alta

Reportes del día 02-09-2014 en el sitio 1

Reportes del día 02-09-2014 en el sitio 2

Reportes del día 02-09-2014 en el sitio 3

Figura 5.52. Reportes generados en los tres sitios de las pruebas.

Observamos que la máxima distancia fue de 370 metros, aun cuando la máxima distancia obtenida en la simulación de 425 metros para el IMT2000 consideramos que los 370 metros son suficientes para verificar la operación del sistema.

### 5.5. Pruebas del sistema.

Como mencionamos en la sección de integración del sistema, la comunicación entre el DML y el CAL es por medio de una red WLAN basada en el estándar IEEE802.11b/g, por lo tanto se implementó una red con un *Access Point* Cisco WAP200E y una antena omnidireccional *Wireless INT* modelo 502306, figura 5.53. Las pruebas del sistema consisten en:

- ✘ Al presionar el botón de auxilio del DML, se deben enviar las coordenadas y el ID o identificador de usuario al CAL.
- ✘ Verificar la recepción del mensaje en el CAL por medio del botón de auxilio.

- ✘ Despliegue del mapa con la ubicación del usuario una vez que se atendió la alerta.
- ✘ Se debe generar un reporte del usuario que emitió el mensaje, almacenando la hora y la fecha en que se envió el mensaje.
- ✘ Generar 30 alertas para realizar un reporte.

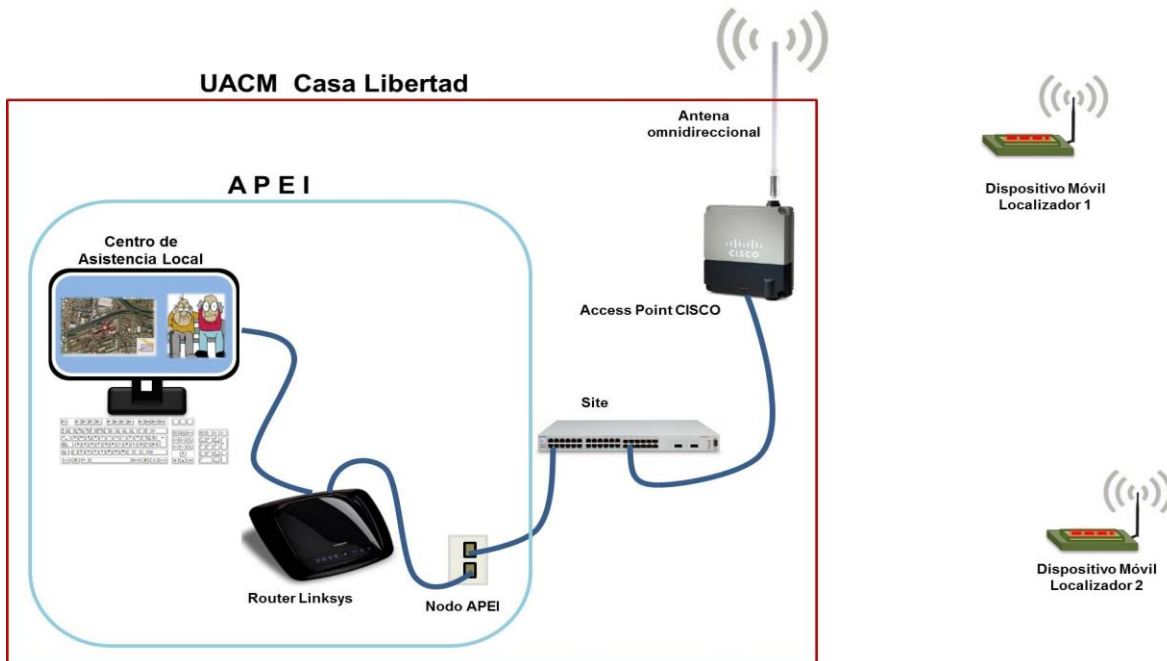


Figura 5.53. Red externa para implementación de pruebas.

La primera fase de la prueba es oprimir el botón de auxilio del DML para que éste envíe las coordenadas geográficas y el ID de usuario al CAL, como se muestra en la figura 5.54.

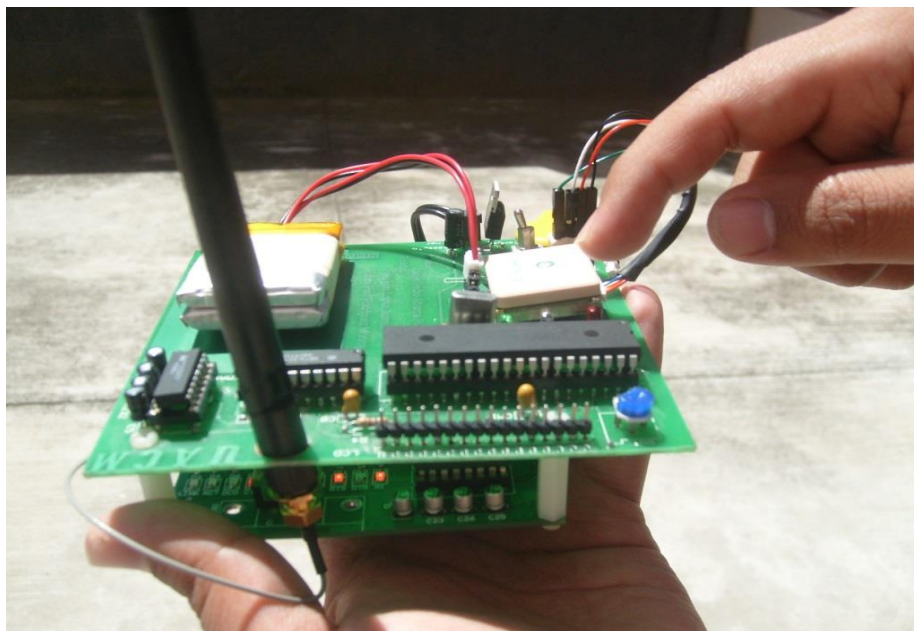


Figura 5.54. Pulsando botón de auxilio.

Cuando se envía el mensaje del DML al CAL se tiene que activar el botón de emergencia, como se muestra en la figura 5.55, es decir, cambia de color verde a rojo, esto indica que llegó el mensaje y que se realizó la comunicación entre los elementos del sistema.

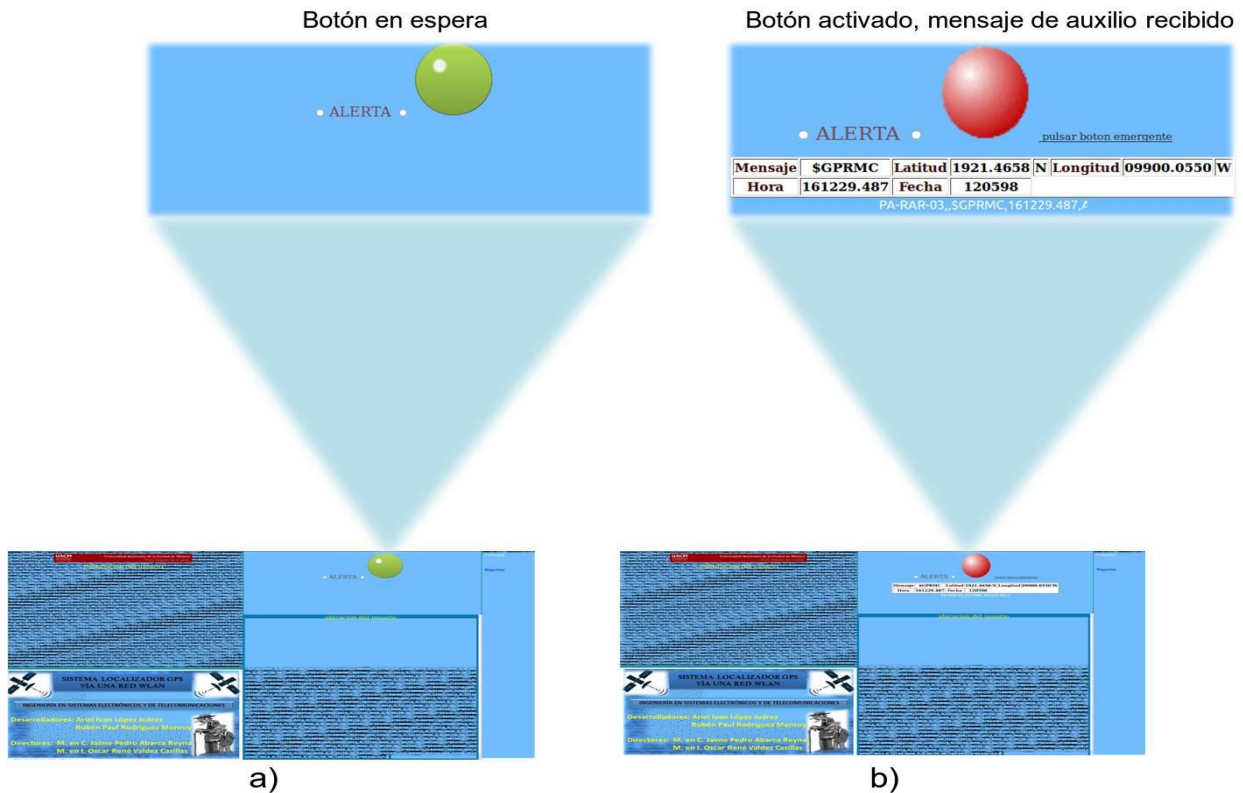


Figura 5.55. Activación del botón de emergencia cuando se ha recibido un mensaje de auxilio.

Dentro del CAL se recibe la información que envió el DML, esto con el objetivo de interpretar y procesar las coordenadas geográficas, y así mostrar en un mapa la ubicación del usuario que envió el mensaje, además realiza una consulta en la base de datos para obtener la información del usuario por medio de su identificador. Esta información se muestra en la figura 5.56.



Figura 5.56. Información y ubicación de un usuario.

En el momento en que el administrador del CAL pulsa el botón de emergencia además de visualizar la información del usuario y su ubicación también se genera un reporte con la información del usuario como se muestra en la figura 5.57, así como la fecha y la hora en que se emitió el mensaje de auxilio, los reportes que se muestran en la figura se generaron los días 10, 11 y 12 de septiembre de 2014.

		id	nombre	apellidop	apellidom	fecha	prioridad	
<input type="checkbox"/>			PA-PGR-08	Rene	Gomez	Perez	2014-01-25 13:58:30	Baja
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-09 12:54:35	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-09 14:56:18	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-09 15:58:36	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RPAB-04	Ana Belen	Perez	Roldan	2014-09-09 16:59:17	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-10 10:37:09	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-10 10:45:57	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-10 10:59:35	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRJ-06	Javier	Rodroguéz	Mena	2014-09-10 11:10:08	Baja
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-10 14:41:06	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-10 14:58:43	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-10 15:10:23	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRJ-06	Javier	Rodroguéz	Mena	2014-09-10 15:15:03	Baja
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-10 17:35:26	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-10 17:45:55	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-10 17:50:20	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRJ-06	Javier	Rodroguéz	Mena	2014-09-10 18:00:47	Baja
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-11 11:30:16	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-11 11:35:43	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-11 11:40:06	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRJ-06	Javier	Rodroguéz	Mena	2014-09-11 11:49:31	Baja
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-11 16:05:55	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-11 16:10:21	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-11 16:18:42	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRJ-06	Javier	Rodroguéz	Mena	2014-09-11 16:25:09	Baja
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-11 18:10:31	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-11 18:14:55	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-11 18:20:17	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRJ-06	Javier	Rodroguéz	Mena	2014-09-11 18:25:39	Baja
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-12 09:10:48	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-12 09:13:19	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-12 09:18:38	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRJ-06	Javier	Rodroguéz	Mena	2014-09-12 09:23:58	Baja
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-12 12:00:21	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-12 12:07:50	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-12 12:11:12	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRJ-06	Javier	Rodroguéz	Mena	2014-09-12 12:14:32	Baja
<input type="checkbox"/>			PA-RAR-03	Rogelio	Aguilar	Ramirez	2014-09-12 14:01:51	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-APM-12	Mayra	Perez	Alvarez	2014-09-12 14:05:12	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRAE-01	Arturo Enrique	Roman	Monroy	2014-09-12 14:10:32	Alta
<input type="checkbox"/>			PA-MRJ-06	Javier	Rodroguéz	Mena	2014-09-12 14:20:54	Baja

Reportes del día  
10-09-2014

Reportes del día  
11-09-2014

Reportes del día  
12-09-2014

Figura 5.57. Generación de un reporte en la base de datos.

## 5.6. Costo del sistema.

Recordemos que una de las motivaciones principales de este proyecto es el costo, incluso subsidiado por el Gobierno del Distrito Federal. En esta sección reportamos el costo del desarrollo sistema.

Descripción	Cantidad	Costo MxN
Computadoras de escritorio DELL Vostro 460.	2	\$33,500.00
Laptop VAIO VPCEFEL/B	1	\$9,000.00
Módulos GPS:		
✕ LR9552.	2	\$1,150.00
✕ LINX-RXM-GPS-SR.	2	\$1,600.00
✕ GPS-CLICK	2	\$1,350.00
Módulo WiFi MT810SWM-IP con tarjeta de desarrollo MT/KIT3, antena y conector	2	\$4,400.00
Router Cisco exterior modelo WAP200E	1	\$7,200.00
Router Cisco interno modelo WRT160N	2	\$2,950.00
Antena omnidireccional Wireless INT modelo 502306	1	\$1,950.00
Adaptador POE	1	\$600.00
Tarjeta de desarrollo EASYPIC6	2	\$6,000.00
Componentes electrónicos	Varios	\$4,000
Baterías recargables Li-ion 3.6V 1100mAh	4	\$650.00
Cargador USB de baterías ME-710	2	\$310.00
Software libre	Varios	-----
Recurso humanos	2 Ingenieros	\$100,000.00
	<b>Total</b>	<b>\$174,660.00</b>

Tabla 5.12. Costos del desarrollo del sistema.

Es importante aclarar que la tabla 5.12 anterior muestra el costo del desarrollo, es decir, todos los recursos que se invirtieron durante el desarrollo del sistema, la tabla 5.13 presenta el costo del sistema.

Descripción	Cantidad	Costo MxN
Computadora Configurada	1	\$20,000.00
Dispositivo Móvil Localizador	1	\$2,500.00
Software Centro de Asistencia Local	Varios	\$50,000.00
Router Cisco exterior modelo WAP200E	1	\$7,500.00
Router Cisco interno modelo WRT160N	1	\$1,600.00
Antena omnidireccional Wireless INT modelo 502306 Wireless INT modelo 502306	1	\$2,300.00
Switch POE de 8 puertos Intellinet	1	\$2,300.00
Cables y conectores	Varios	\$1,500.00
Instalación		\$30,000.00
Mantenimiento 1 año		\$10,000.00
	<b>Total</b>	<b>\$127,700.00</b>

Tabla 5.13. Costo del sistema.

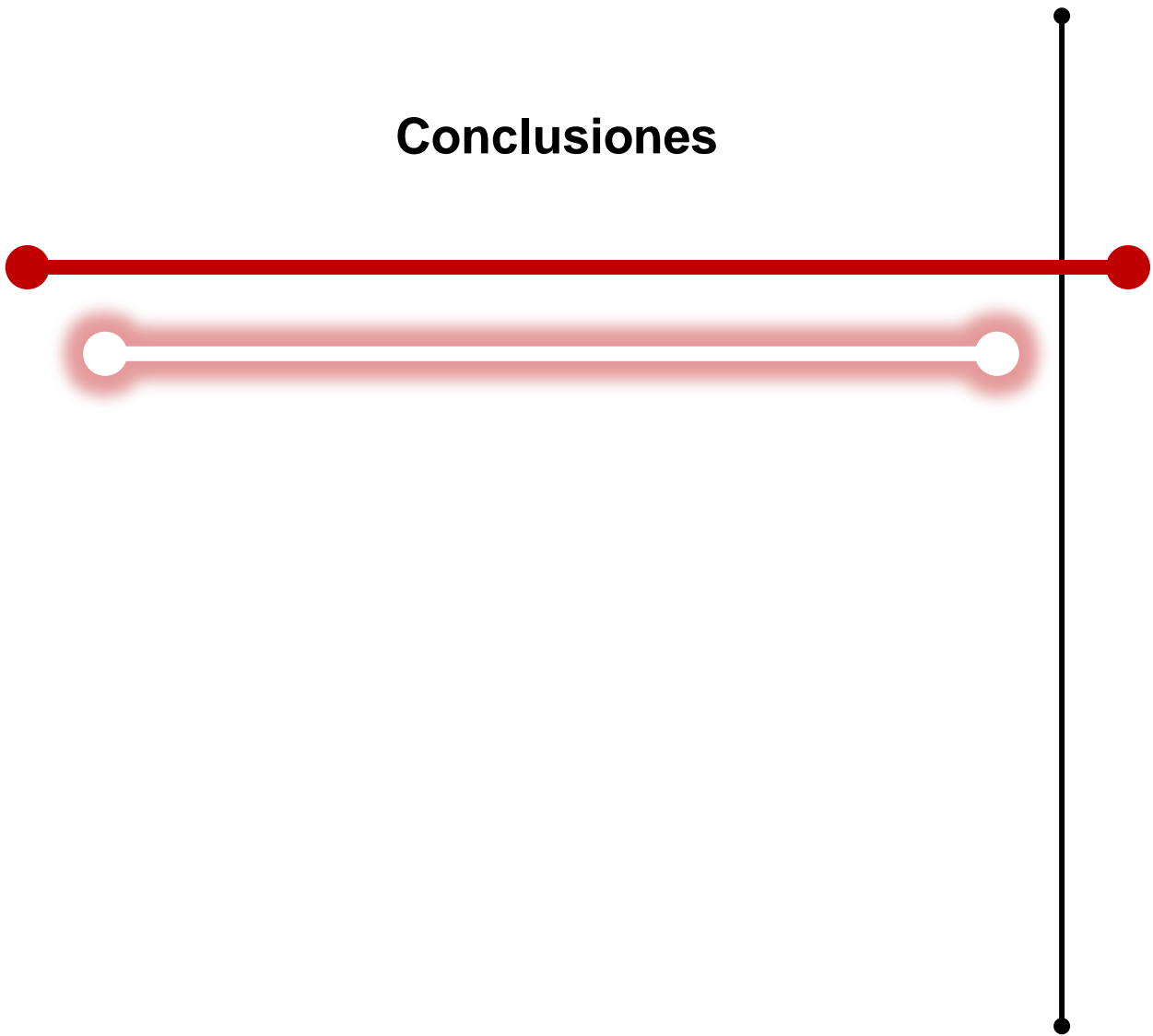
En cuanto al DML, recordemos que fue integrado en un circuito impreso con un costo de fabricación de \$200, pero fabricando una mayor cantidad el costo podría disminuir a \$100. Del mismo modo el costo de los componentes se reduciría, esto es, el costo del DML sería de \$1200.

**Referencias.**

- [1] [ftp://www.leadtek.com/gps/9552/9552\\_V03\\_092806.pdf](ftp://www.leadtek.com/gps/9552/9552_V03_092806.pdf)
- [2] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291D.pdf>
- [3] <http://www.mikroe.com/easypic/v6/>
- [4] Hiertz R. Guido *et al.*, "The IEEE 802.11 *Universe*", en *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No. 1, Junio de 2010, pp. 62-70.
- [5] <http://www.multitech.com/products/wireless#gsc.tab=0>
- [6] <http://www.multitech.com/manuals/s0004571.pdf>
- [7] Walke Bernhard, *IEEE 802 Wireless System*, John Wiley and Sons, England, 2006.
- [8] <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/motorola/SN54LS244J.pdf>
- [9] <http://www.altium.com/>
- [10] <http://techdocs.altium.com/display/ADOH/Download+Libraries>
- [11] Silberschatz, Korth, Sudarshan, *Fundamentos de Bases de Datos*, McGraw Hill, España, 2006.
- [12] Sullivan Michael, *Trigonometría y geometría analítica*, Pearson Education, México, 2007.
- [13] [http://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/wireless/access\\_point/csbap/wap200e/administration/guide/WAP200E\\_V10\\_UG\\_C\\_web.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/wireless/access_point/csbap/wap200e/administration/guide/WAP200E_V10_UG_C_web.pdf).
- [14] <http://www.intellinet-network.com/en-US/products/5618-high-gain-omni-directional-antenna>.
- [15] Lee William C. Y., *Wireless and cellular Telecommunications*, McGraw Hill, USA, 2006.
- [16] Garg Vijay K., *Wireless Communication and Networking*, Morgan Kaufmann, USA, 2007.
- [17] Goldsmith Andrea, *Wireless Communications*, Cambridge University press, USA, 2005.
- [18] Du Ke-Lin y Swamy M. N. S., *Wireless Communications Systems*, Cambridge University press, USA, 2010.
- [19] T.S. Rappaport, *Wireless Communication, Principles and Practice*, Prentice Hall, 2002.
- [20] Parsons J. D., *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, USA, 2000.
- [21] Saunders Simon R., *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, John Wiley & Sons, USA, 2007.
- [22] <http://www.mathworks.com/products/matlab/>



# Conclusiones



Por naturaleza, al envejecer, el ser humano experimenta diversas enfermedades y con ello la calidad de vida es afectada; pero no solo a ellos lo afecta, también las personas que los rodean viven situaciones, que en menor medida, afectan su calidad de vida. Una enfermedad común en las personas de la tercera edad es el Alzheimer, solo por mencionar alguna, ésta limita las actividades de los que la padecen y de los seres que los rodean. Hemos visto que la población de la tercera edad en nuestro país, México, va en aumento, sin duda alguna la problemática de padecimientos y enfermedades también. En este sentido, desarrollamos un sistema de localización vía una red WLAN basada en el estándar IEEE802.11b/g y el sistema satelital GPS. Como lo vimos, en este trabajo, no es un sistema novedoso puesto que en el mercado existe una amplia variedad de sistemas que ofrecen este tipo de servicio. Sin embargo, nuestro sistema tiene un enfoque social único, y es que está orientado a familia de escasos recursos cuya problemática sea la planteada en este trabajo.

Durante el desarrollo de este proyecto tuvimos la oportunidad de constatar que efectivamente hay familias que viven situaciones con parientes que padecen algún tipo de enfermedad como las aquí planteadas. Durante nuestras entrevistas, un sector de la población miró con esperanzas este proyecto; el interés que presentaron para formar parte de este programa nos motivó para continuar y concluir este proyecto. En alguna de nuestras presentaciones se acercó a nosotros una persona y nos comentó: “si hubiera existido un sistema así hace algunos años hubiera tenido una vida tranquila...”; su madre tenía Alzheimer. Estamos convencidos que es un problema que afecta a cualquier nivel, la pequeña diferencia es que los que cuentan con los recursos económicos pueden contratar un servicio o personal para atender a sus familiares.

También, durante el desarrollo del proyecto ampliamos nuestro horizonte de aplicación, es decir, el sistema no solo es útil para personas de la tercera edad; podría ser utilizado por personas con alguna discapacidad, por ejemplo: alguien con alguna discapacidad motriz en silla de ruedas o muletas.

Es un sistema complejo, en el que tuvimos la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera, incluso aprender y complementar con algunos temas que no fueron vistos. Aplicación de áreas de conocimiento como: electrónica digital y analógica, microcontroladores, radiocomunicaciones, matemáticas, redes, bases de datos, diseño de páginas web, administración de servidores, manipulación de equipos de medición (osciloscopios, analizador de redes y de espectros), desarrollo de proyectos y normatividad, ciencias sociales; podríamos hablar específicamente de todas las herramientas y conocimientos que involucramos para el desarrollo del sistema y seguramente necesitaríamos algunas decenas de cuartillas.

Tuvimos la oportunidad de conocer las etapas para desarrollar un sistema de estas dimensiones, desde el planteamiento y una propuesta general del equipo necesario, hasta la puesta en marcha del sistema. Fue una experiencia en la que, sin duda alguna, tuvimos la oportunidad de poner en práctica gran parte de los conocimientos adquiridos.

Hemos dado un paso importante para enfrentar la problemática, que como país, viviremos en algunos años. Creemos en el proyecto y estamos conscientes que este tipo de medidas ofrecerá una ayuda importante. En el contenido del trabajo mencionamos que este sistema podría ser gestionado y subsidiado por una estancia gubernamental, como podría ser el GDF, por dos razones básicamente. La primera, por la cantidad de información y datos personales que maneja el sistema; la segunda, el gobierno podría hacer uso de la infraestructura para montar las antenas y la facilidad en la comunicación con ambulancias, patrullas y bomberos.

Es una primera etapa del proyecto, como trabajo futuro planteamos lo siguiente:

- Rastrear usuarios.
- Extender criterios de búsqueda en las consultas.
- Desarrollar versiones del DML dependiendo la necesidad del usuario.
- Extender la cobertura por medio de la tecnología WiMAX.
- Integrar en el CAL varias terminales.
- Albergar toda la información en un servidor.

Consideramos, asesores y estudiantes, importante plasmar en las conclusiones la experiencia y vivencias obtenidas del desarrollo de este proyecto. Los detalles técnicos y demás observaciones se encuentran plasmadas en las secciones que componen este escrito. Ocupamos este breve espacio para expresar nuestro sentir, ya que sería poco agregar una sección, en el cuerpo del trabajo, dedicada a estas experiencias.

Otro aspecto a destacar en la realización de este proyecto es que al implementarse este sistema ya sea a través de una estancia gubernamental o privada se generarían empleos, por lo que además del compromiso social con el que se empezó a desarrollar esta idea, se agrega el beneficio de crear una fuente de trabajo, que a su vez generan recursos. Algunos empleos que se pueden genera son para ingenieros, del sector salud, técnicos y administrativos entre otros.



## Siglas y acrónimos



AAA	Authentication Authorization and Accounting
ACK	Acknowledgment
AES	Advanced Encryption Standard
ANSI	American National Standards Institute.
API	Application Programming Interface
ASP	Active Server Pages
AT	Attention
BSD	Berkeley Software Distribution
BSS	Basic Service Sets
BPSK	Binary Phase Shift Keying
C/A-code	Coarse /Acquisition or clear/ Acquisition code
CA	Collision Avoidance
CAL	Centro de Asistencia Local
CCA	Clear Channel Assessment
CD	Collision Detection
CDMA	Code Division Multiples Access
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
CRC	Cyclic Redundancy Check
Cs	Cesio
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
COM	Component Object Model
CPU	Control Processing Unit
CTS	Clear to send
DBPSK	Differential Binary Phase Shift
DCF	Distributed Coordination Function
DCCP	Datagram Congestion Controlled Protocol
DF	Disable Fragmentation

DFC	Dynamic Frequency Selection
DGPS	Differential Global Positioning System
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DML	Dispositivo Móvil Localizador
DNS	Domain Name System
DOD	Department of Defense
DOP	Dilution of Precision
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DSL	Digital Subscriber Line
EAP	Extensible Authentication Protocol
ECEF	Earth Centered – Earth Fixer
EEPROM	Electrically Erasable Programmable ROM
EIA/TIA	Electronic Industries Association/Telecommunications Industry Association
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
EUSART	Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
FCS	Frame Check Sequence
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunication System
FSK	Frequency Shift Keying
FTP	File Transfer Protocol
Gd	Grados decimales
GDOP	Geometric Dilution of Precision
Gmd	Grados y minutos decimales
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPL	General Public License
GPRMC	Recommended Minimum Specific GNSS Data

GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobil Communication
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
HOW	Hand Over Word
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hipertext Transfer Protocol
IBM	International Business Machines
IBSS	Independent Basic Service Sets
IHL	Internet Header Lenght
ICMP	Internet Control Message Protocol
ID	Identificador de usuario
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IERS	International Earth Rotation Service
IFS	Inter Frame Spacing
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IODC	Issue of Data Clock
IODE	Issue of Data Ephemerides
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial Scientific and Medical
ISO	International Standard Organization
ITU	International Telecommunication Union
LED	Light Emitting Diode
LFT	Ley Federal de Telecomunicaciones
LLC	Logical Link Control
LLD	Lenguaje de Definición de Datos
LMD	Lenguaje Interactivo de Manipulación de datos

MAC	Medium Access Control
MCS	Master Control Station
MF	More Fragments
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MPDU	MAC Protocol Data Units
MS	Monitor Station
MTIE	Maximum Time Interval Error
NAVSTAR	Navigation Satellite for Timing and Ranging
NIC	Network Interface Card
NIST	National Institute of Standards and Technology
NMEA	National Marine Electronics Association
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OLPT	OnLine Transaction Processing
OSI	Open System Interconnection
P2P	Peer to Peer
PC	Point Coordination
PCB	Printed Circuit Board
PCF	Point Coordination Function
P-code	Precision code
PDOP	Position Dilution of Precision
PHP	PHP Hypertext Pre-Processor
PLCP	Physical Layer Convergence Procedure
PMD	Physical Medium Dependement
PPDU	PLPC Protocol Data Unit
PPS	Precise Positioning Service
PRC	Primary Reference Clock
PRN	Pseudo Random Noise

QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QBE	Query by Example
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RADIUS	Remote Authentication Dial-in User Service
RAM	Random Only Memory
Rb	Rubidio
ROM	Read Access Memory
RTP	Real Time Protocol
RTS	Request to Send
Rx	Receptor
SFD	Start Frame Delimiter
SGBD	Sistema de Gestión de Base de Datos
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIM	Subscriber Identity Module
SIMAP	Sistema de Monitorización de Alertas Personales
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SPS	Standard Positioning Service
SQL	Structured Query Language
SSID	Service Set Identifier
TCP	transmission Control Protocol
TDVE	Time Devation
TELNET	Telecommunication Network
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TLM	Telemetric
TOW	Time of Week
TPC	Transmission Power Control
TTFB	Time to First Fix

TTL	Time to Live
Tx	Transmisor
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URA	User Range Accuracy
UI	Unit Interval
URA	User Range Accuracy
UTC	Coordinated Universal Time
VDOP	Vertical Dilution of Precision
WEP	Wired Equivalent Privacy
WGS84	World Geodetic System 1984
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Access Network
WPA	WiFi Protected Access
WPA2	WiFi Protected Access 2
WWW	Wide World Web



**Anexos**



## Anexo A.

### Configuración del *router* Linksys (WRT160N).

Para la configuración del *router* Linksys se realizan los siguientes pasos.

Primer paso: para acceder a la página principal debemos ingresar a través de un navegador Web convencional con la dirección IP del *router* predeterminada, 192.168.1.1 en el campo de dirección del navegador.

A continuación se desplegará una ventana de autenticación, en el cual, nos pedirá que escribamos el nombre del usuario y contraseña, como se ve en la figura A1.



Figura A1. Autenticación para acceder al *router* Linksys WRT160N.

Segundo paso: Nos dirigimos a la pestaña configuración básica, donde podemos establecer los valores como idiomas, configuración de Internet y configuración de red.

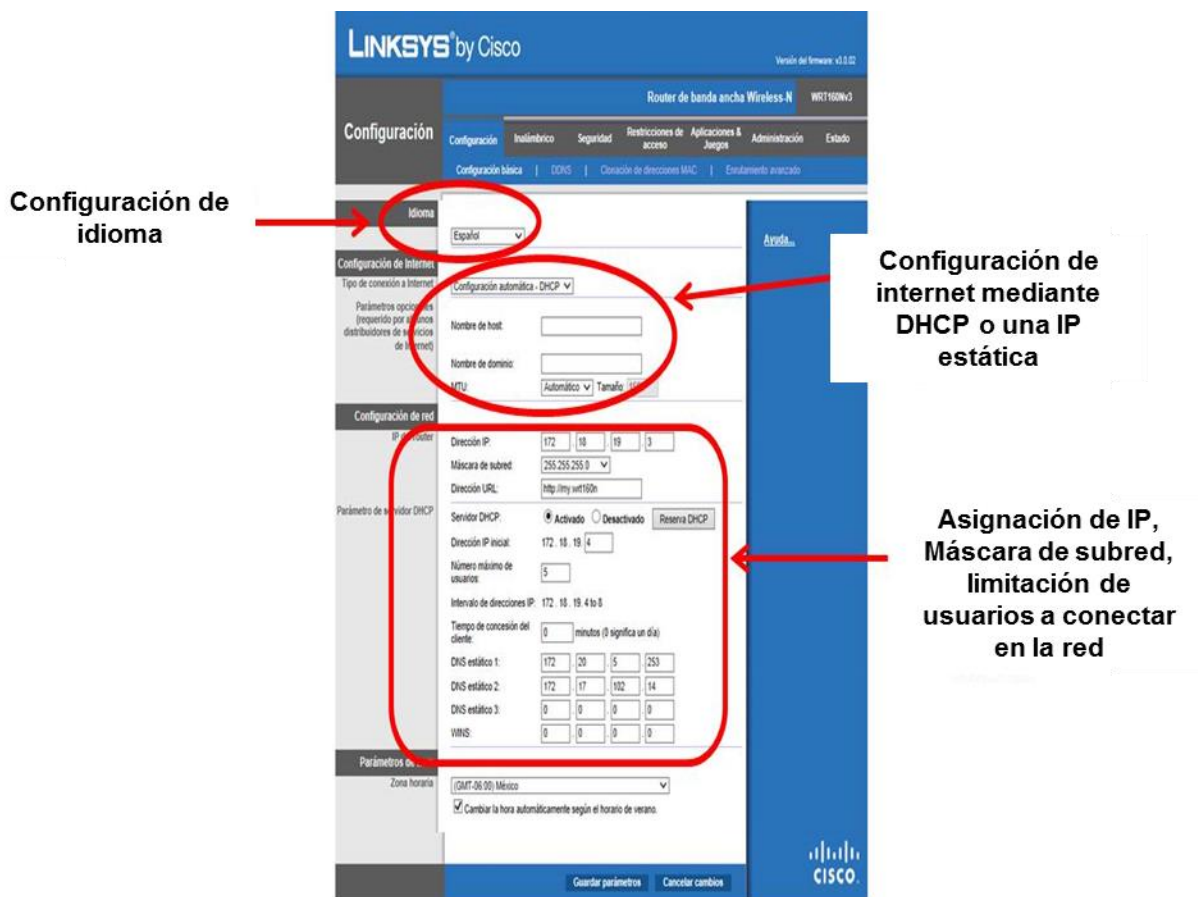


Figura A2. Configuración del router Linksys WRT160N.

En este punto también se puede desactivar o activar DHCP, donde nosotros podemos limitar el número de conexiones activas, de esta manera admitiremos solo la cantidad de conexiones simultáneas de los dispositivos móviles.

En este caso el número de usuarios que les está permitido acceder a la red son 6 donde el intervalo de direcciones es de 172.18.19.4 a 172.18.19.9

Es importante mencionar que el CAL como el *Access Point* Cisco cuenta con una dirección IP estática la 172.18.19.3 y la 172.18.19.10 respectivamente en el cual estas direcciones no aparecen en el rango permitido por las direcciones DHCP.

Tercer paso: Para aplicar algún método de encriptación, buscamos la opción de seguridad en la pestaña inalámbrica. Aquí se puede optar por diferentes tipos de modo de seguridad como se muestra en la figura A3.

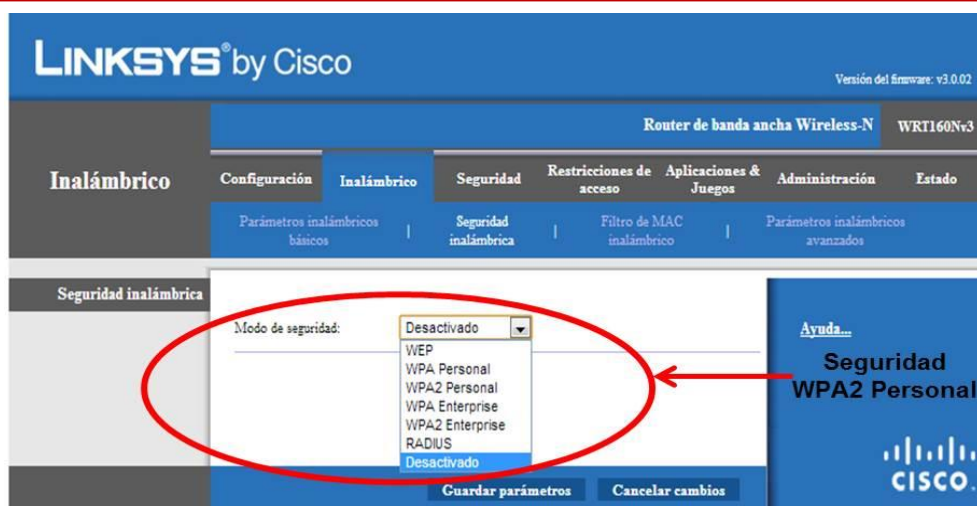


Figura A3. Asignación de seguridad al *router* Linksys.

El tipo de seguridad que se ocupó para el proyecto fue WPA2 Personal, el tipo de encriptación que ocupa es AES, al momento de seleccionar el modo de seguridad nos desplegará el campo frase de paso el cual es la clave para poder acceder a la red inalámbrica figura A4.



Figura A4. Configuración de seguridad y contraseña del *router* Linksys.

Ahora para la configuración del *Access Point* Cisco WAP200E se realizan los siguientes pasos:

Primer paso: Acceder a un navegador convencional como puede ser Internet Explorer, Google Chrome, Firefox, etcétera, para acceder a la interface gráfica del *Access Point*, mediante la IP 172.18.19.2 (dirección IP asignada para el proyecto, es importante mencionar cuando se desea ingresar por primera vez al *Access Point* necesita acceder con la IP predeterminada, 192.168.1.1). A continuación el navegador despliega una ventana de autenticación en el cual se

debe ingresar nombre de usuario y contraseña figura A5. Este paso es para acceder a la interfaz del *Access Point* y poder gestionar o administrar dicho dispositivo. Figura A6.

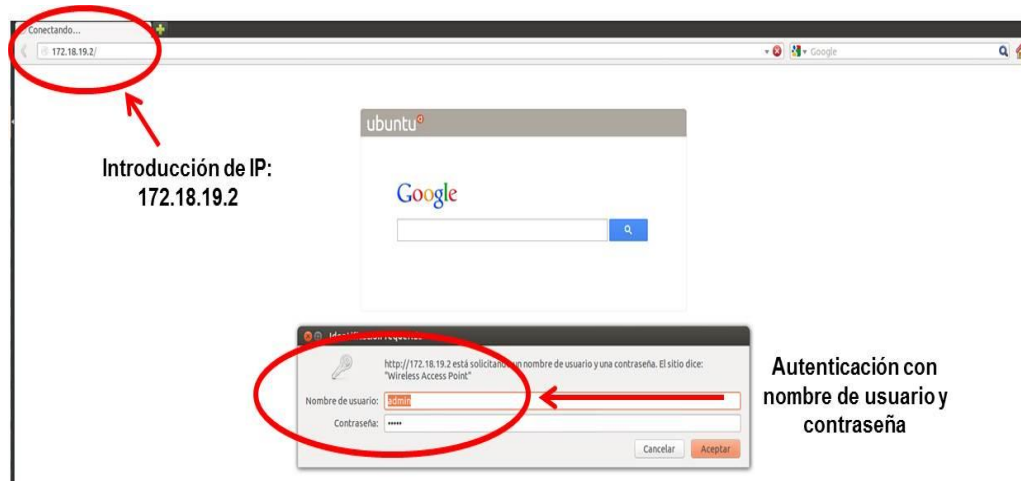


Figura A5. Autenticación para acceder al *Access Point* Cisco.

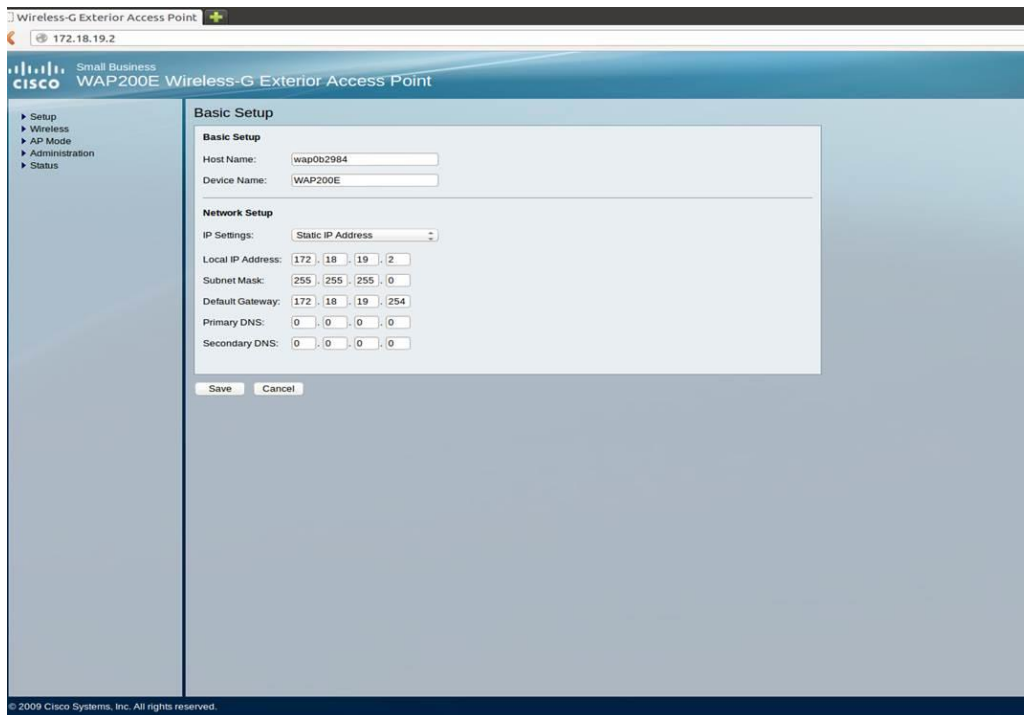


Figura A6. Página principal del *Access Point* Cisco WAP200E.

Segundo paso: Dirigirnos a la parte de *basic setup* y asignar una dirección IP, una dirección de máscara de subred, una dirección *Gateway* y dos direcciones DNS, como se observa en la figura A6.

Ahora se establece la forma de trabajo de la red inalámbrica en *Wireless>Basic>Settings* se puede elegir entre los siguientes estándares: IEEE802.11b, IEEE802.11g o ambos, para

nuestra configuración usaremos el método donde trabajan ambos, ya que los dispositivos con los cuales estamos trabajando emplean los dos estándares, figura A7. En esta misma página se puede dar de alta el canal por el cual se establecerá la comunicación en la parte de *Wireless channel*. Además se puede modificar el nombre de identificador de red (SSID), y se puede modificar si queda visible u oculto para que lo detecten los dispositivos.

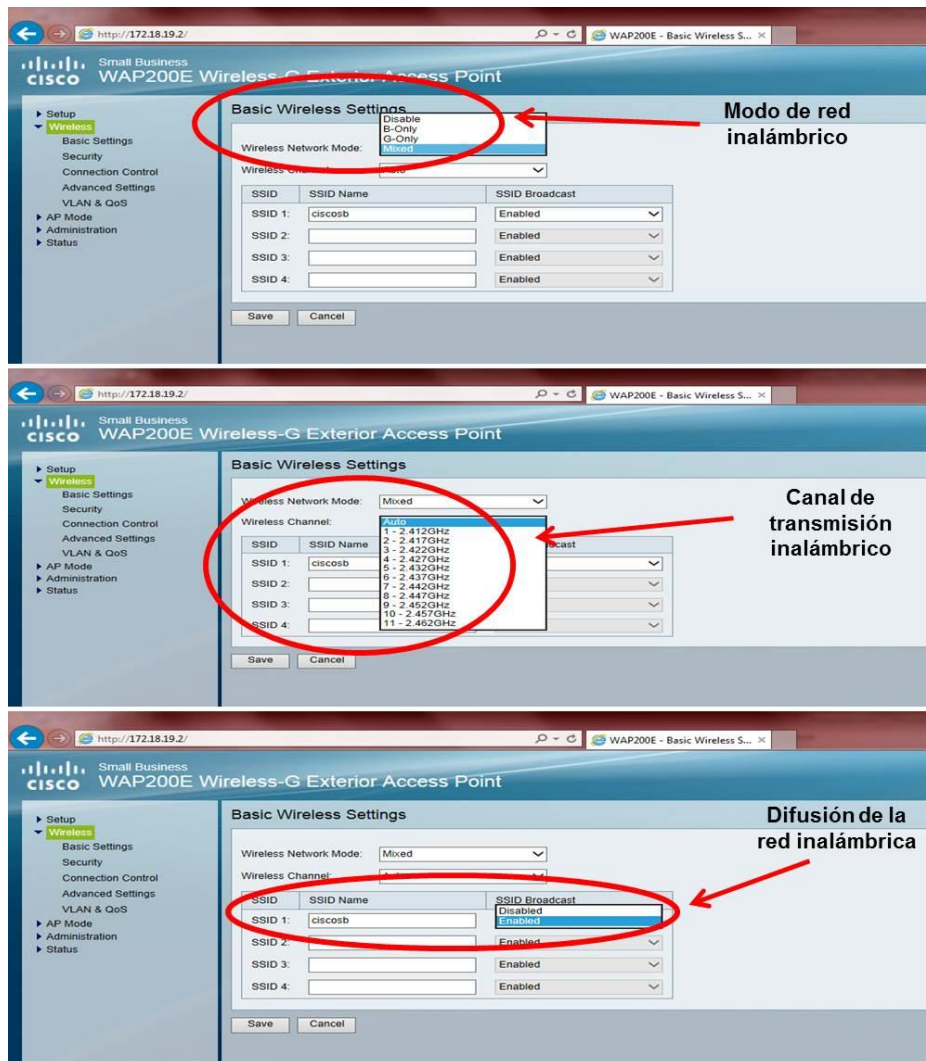


Figura A7. Asignación de modo de red, canal de transmisión y difusión de red.

En la página *WirelessSecurity* cuenta con la función *Wireless Isolation* que se encarga de difundir el nombre SSID de las redes establecidas en *BasicSettings*, aquí seleccionamos el nombre de nuestra red para que pueda permanecer oculta o visible, figura A8. En esta misma página se puede asignar el modo de seguridad con el que va a trabajar nuestra red inalámbrica, las opciones con la cuanta este *Access Point* son las siguientes: WEP, WPA-personal, WPA2-personal, WPA-Enterprise, WPA2-Enterprise y RADIUS, y nosotros establecimos que el método de seguridad sea WPA2-personal, el método encriptación con el que trabaja es AES, se asigna una clave secreta que puede ser de 8 a 63 caracteres,

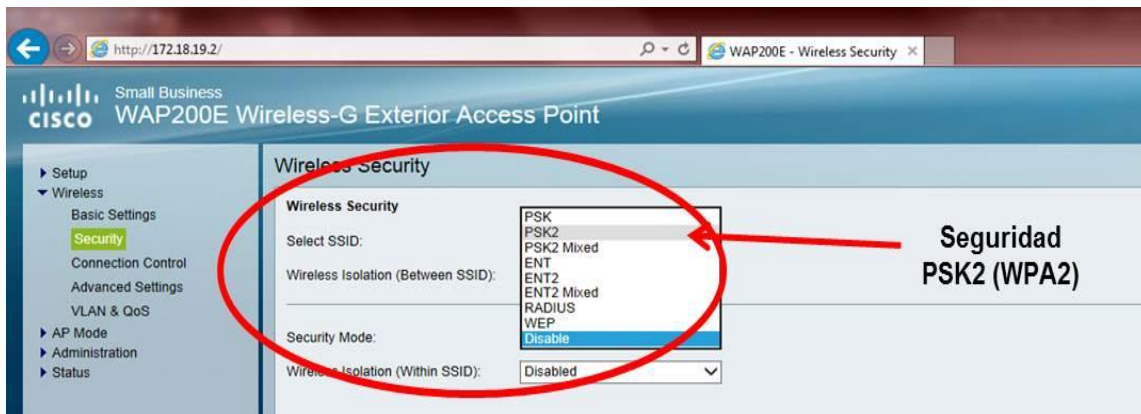


Figura A8. Configuración de seguridad de red inalámbrica PSK2.

Ahora en *Wireless > BasicSettings*, se configura la potencia de salida, o la potencia de transmisión inalámbrica, que dependiendo de los requerimientos o necesidades del sistema a trabajar se puede disponer del 25, 50, 75 o 100% de potencia, en nuestro proyecto se estableció para que dicha potencia fuera del 100% como se puede observar en la figura A9.

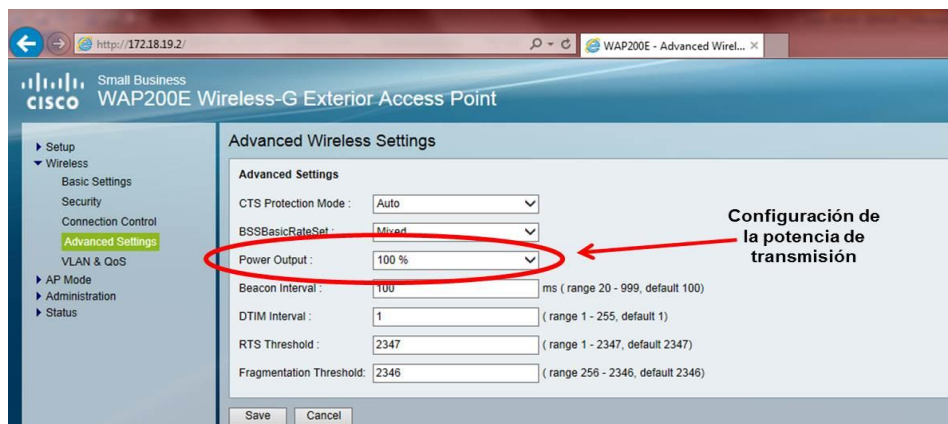


Figura A9. Configuración del 100% de la potencia de transmisión.

**Anexo B.**

Durante el desarrollo de este proyecto se brindaron varias entrevistas en radio, televisión y periódico. Esto nos permite observar el impacto del proyecto y la necesidad latente que existe en nuestro país sobre este tipo de problemática. A continuación presentamos los documentos probatorios sobre estas actividades.

Primero. Presentamos la constancia expedida por la institución sobre las diferentes entrevistas en radio y televisión.

Segundo. La publicación de una entrevista en el periódico Milenio con fecha 16 de septiembre del año 2011.

Tercero. Constancias de participación en:

- ✧ Seminario de Investigación Científica y Tecnológica en el X Aniversario de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.
- ✧ 10 años Área de Investigación de Nuevas Tecnologías en la Universidad Autónoma Metropolitana.
- ✧ 2011 IEEE Student Branch Meeting on Computer & Telecommunications UIA & UACM en la Universidad Iberoamericana Ciudad de México.

Cuarto. El reconocimiento como ganadores del Premio de Ingeniería de la Ciudad de México 2012, evento organizado por el SECITI entonces ICyT.

La Universidad Autónoma de la Ciudad de México,  
a través de la Coordinación de Comunicación,  
extiende la presente

## CONSTANCIA

**al Dr. Jaime Pedro Abarca Reyna**

de la Academia de Ingeniería, por su participación en entrevistas para divulgar sus proyectos de investigación en los siguientes medios de comunicación:

**Radio 13**

Martes 16 de agosto, con Diane Pérez.

**Canal de televisión 52MX**

Miércoles 17 de agosto, reportaje realizado por Omar Patiño, que salió al aire el 31 de agosto.

**Radio 13**

Jueves 18 de agosto, con Néstor Ojeda.

**Formato 21**

Sábado 20 de agosto, con Guadalupe Juárez.

**Milenio Diario**

Lunes 22 de agosto, con Francisco Mejía, reportaje publicado el 16 de septiembre.

**Radio Ibero 90.9**

Martes 23 de agosto.

**Radio RED**

Viernes 9 de septiembre, con Sergio Sarmiento.

**NotiUACM**

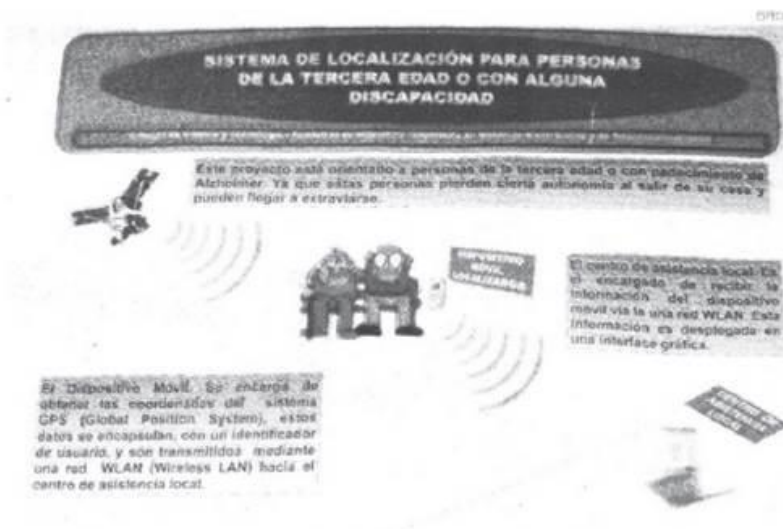
Lunes 12 de septiembre, con Juan Manuel Struck.

**Código DF,**

Estación de la Secretaría de Cultura del GDF, con Fabiola Ramos.

**Lic. Claudia Magdalena Macedo Ramírez**  
Coordinadora de Comunicación

Ciudad de México, a 11 de diciembre de 2011

Fecha  
16.09.2011Sección  
Ciudad y EstadosPágina  
28

## GPS PARA ANCIANOS Y DISCAPACITADOS

El proyecto inició en un laboratorio de la [Universidad Autónoma de la Ciudad de México](#); el costo de la producción y mano de obra es de casi mil 500 pesos y se busca que sea subsidiado y administrado por el GDF

**E**n breve, adultos mayores y personas con algún tipo de discapacidad física o mental podrán llevar consigo, si lo desean, un dispositivo GPS del tamaño de una cajetilla de cigarros para ser localizados de manera inmediata, en caso de

extravío; este aparato, según su creador, puede ser entregado de manera gratuita por el Gobierno del Distrito Federal.

El coordinador del equipo de la [Universidad Autónoma de la Ciudad de México \(UACM\)](#) que trabaja en ello, Jaime Pedro Abarca, informó en entrevista con *MILENIO* que la

idea es que ese equipo, cuyo costo de producción y mano de obra estaría en alrededor de mil 500 pesos, sea subsidiado y administrado por el gobierno local.

El proyecto inició en un laboratorio de la [UACM](#) en Santa Martha Acatitla en febrero pasado, con un presupuesto total de 130 mil pesos, y

Continúa en siguiente hoja



Página 1 de 2  
\$ 83274.66  
Tam: 462 cm2  
ANUALIDAD

Fecha	Sección	Página
16.09.2011	Ciudad y Estados	28

aunque su tecnología de localización no es innovadora, sí lo es en cuanto al enfoque social que se pretende para beneficiar a personas mayores y de escasos recursos.

En un máximo de cuatro meses, el equipo de trabajo, donde participan los alumnos Rubén Paul Rodríguez Monroy e Iván López Juárez, de la carrera de Ingeniería en Sistemas Eléctricos y Telecomunicaciones, realizará una prueba piloto en un área de un kilómetro alrededor de la escuela. Actualmente el proyecto está en 60 por ciento de avance.

#### Dispositivo y monitoreo

La persona que lo requiera traerá con ella dicho receptor móvil que, incluso con una inversión mayor de cerca de 600 mil pesos, puede reducir su tamaño para evitar que le sea robado. El dispositivo estará conectado a un centro de monitoreo.

Si el sujeto que lo carga se siente desorientado o perdido

en algún punto de la ciudad, activará un pequeño botón y en la pantalla de ese centro de monitoreo se encenderá y apagará intermitentemente una luz roja que será la señal de auxilio.

En el sitio habrá un operador atento a las señales que se emitan. Dicha luz permanece siempre en color verde y cambia a roja cuando se emite la alerta de auxilio.

En ese momento el encargado del sistema presionará en la luz encendida y en el monitor aparecerá un mapa satelital con la ubicación de quien pide ayuda, además de la fecha, hora y datos personales del usuario, así como los teléfonos de casa y móvil y su información médica, para saber si tiene alguna enfermedad, dijo el entrevistado, quien cuenta con una maestría en Comunicaciones por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

#### Investigación rudimentaria

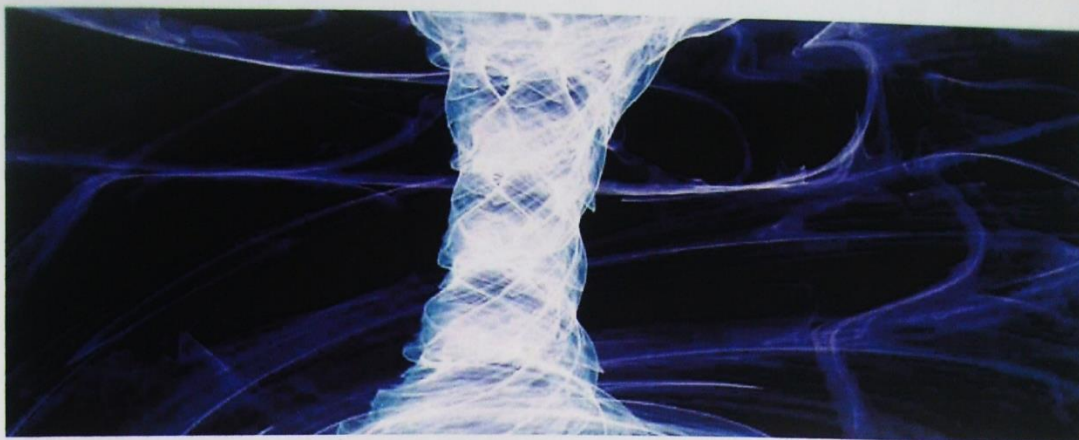
El proyecto se trabaja en un laboratorio reducido de la UACM, donde

sólo se cuenta con lo indispensable: cuatro computadoras y dos interfaces del dispositivo con sus pilas y cables. Es todo.

Manifestó que la tecnología que se usa no es nueva, pues ya existen empresas en México que lo comercializan desde hace casi dos años. Lo nuevo, dijo el investigador, será su enfoque social, "que el gobierno lo otorgue como una prestación social".

El dispositivo en el mercado tiene un costo de entre siete y 15 mil pesos y se usa para la localización de personas, objetos y mascotas. Adicional al dispositivo, el usuario tiene que pagar una renta mensual para que se le monitoree.

El objetivo, finalizó Pedro Abarca, es que inmediatamente después de la prueba piloto se use en la población adulta mayor de Iztapalapa y enseguida generalizar su uso en todo el DF. Para ello se requieren por lo menos otros cuatro centros de monitoreo. ■■


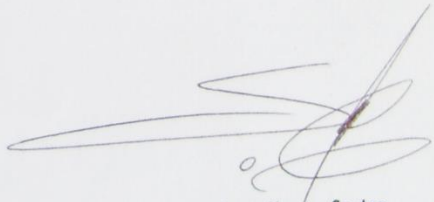
**UACM**Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México*Nada humano me es ajeno*

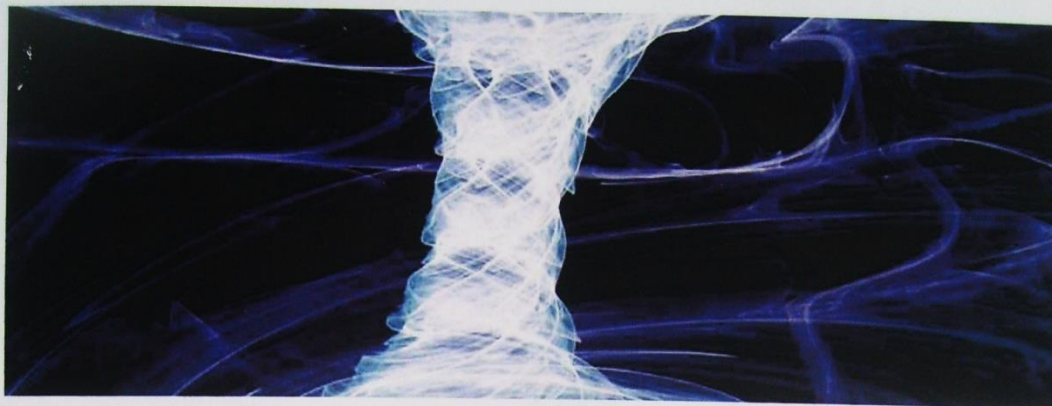
La Universidad Autónoma de la Ciudad de México

otorga la presente constancia a

**Ariel Iván López Juárez**por su participación como ponente con el tema  
Sistema de localización para personas de la tercera edad  
o con alguna discapacidad

dentro del

***Seminario de Investigación Científica  
y Tecnológica en el X Aniversario de la UACM***Realizado en el plantel Del Valle  
del 6 al 8 de abril de 2011.  
Dra. Minerva Camacho Nuez  
Coordinación Académica  
M. en C. Silvia Castellanos Castro  
Área de Desarrollo de la Investigación



**UACM**

Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México

*Nada humano me es ajeno*

La Universidad Autónoma de la Ciudad de México

otorga la presente constancia a

**Rubén Paul Rodríguez Monroy**

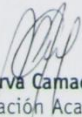
por su participación con el tema

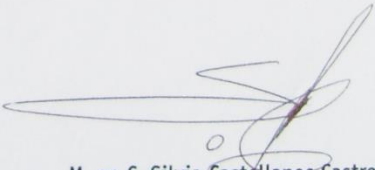
Sistema de localización para personas de la tercera edad  
o con alguna discapacidad

dentro del

***Seminario de Investigación Científica  
y Tecnológica en el X Aniversario de la UACM***

Realizado en el plantel Del Valle  
del 6 al 8 de abril de 2011.

  
Dra. Minerva Camacho Nuez  
Coordinación Académica

  
M. en C. Silvia Castellanos Castro  
Área de Desarrollo de la Investigación





**10 años**  
**Área de Investigación**  
**Nuevas Tecnologías**

**La Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco**  
**a través de la División de Ciencias y Artes para el Diseño y el**  
**Departamento de Procesos y Técnicas de Realización**

Otorga la presente  
**constancia a:**

**Rubén Paul Rodríguez Monroy**

Por su participación en el ciclo de conferencias "Devenir, Actualidad y Proyección de las Nuevas Tecnologías y el Diseño", con la ponencia:

**Sistema de localización para personas de la tercera edad o con alguna discapacidad.**

Evento efectuado en esta Unidad Académica del 21 al 25 de noviembre de 2011,  
con una duración de 20 hrs.  
Aprobado en la Sesión 435 Ordinaria del Trigésimo Séptimo Consejo Divisional, celebrada el  
día 4 de noviembre del 2011 según el acuerdo 435-3

Ciudad de México, 2011  
**"CASA ABIERTA AL TIEMPO"**

  
**E. en Arq. Eduardo Kotasek González**  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PROCESOS Y  
TÉCNICAS DE REALIZACIÓN

  
**Mtro. Edwing Almeida Calderón**  
JEFE DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN DE  
NUEVAS TECNOLOGÍAS

  
UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
Azcapotzalco

  
CYAD

  
Procesos  
y Técnicas de Realización

  
Compu Town  
Technology & Services











# EL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

OTORGA EL PREMIO DE INGENIERÍA  
DE LA CIUDAD DE MÉXICO 2012

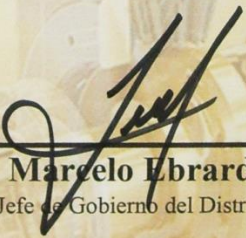
A:

*Ariel Iván López Juárez*

PRIMER LUGAR EN LA CATEGORÍA DE:

*Estudiantes o Egresados de Ingeniería  
de nivel Licenciatura en el Área Eléctrica-Electrónica  
en la modalidad de equipo*

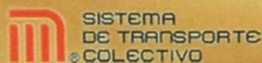
"POR UNA CIUDAD DE TECNOLOGÍA  
Y CONOCIMIENTO"

  
Lic. Marcelo Ebrard Casaubon

Jefe de Gobierno del Distrito Federal

Ciudad de **vanguardia**

5 de Octubre de 2012





## EL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

OTORGA EL PREMIO DE INGENIERÍA  
DE LA CIUDAD DE MÉXICO 2012

A:

*Rubén Paul Rodríguez Monroy*

PRIMER LUGAR EN LA CATEGORÍA DE:

*Estudiantes o Egresados de Ingeniería  
de nivel Licenciatura en el Área Eléctrica-Electrónica  
en la modalidad de equipo*

"POR UNA CIUDAD DE TECNOLOGÍA  
Y CONOCIMIENTO"

  
Lic. Marcelo Ebrard Casaubon

Jefe de Gobierno del Distrito Federal

Ciudad de **vanguardia**

5 de Octubre de 2012

