

HORUS - Sistema Prototipo de Monitoreo y Control Vehicular Asistido por *GPS*



**Juan Andrés Cárdenas Díaz
Libardo Andrés Samboní Rubio**

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL – Grupo de Radio e InALámbricas
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio.
Popayán, Noviembre de 2010**

HORUS - Sistema Prototipo de Monitoreo y Control Vehicular Asistido por *GPS*



Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones

**Juan Andrés Cárdenas Díaz
Libardo Andrés Samboní Rubio**

Director: Víctor Manuel Quintero Flórez

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL – Grupo de Radio e InALámbricas
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio.
Popayán, Noviembre de 2010**

AGRADECIMIENTOS

Con un profundo agradecimiento al Ingeniero Víctor Quintero por su gran apoyo, orientación, consejos y valioso aporte durante este proceso de formación.

A mi Madre, por su amor incondicional, cariño y comprensión; por ser ese gran ejemplo de fortaleza y perseverancia; por llevarme de su mano por la vida brindándome siempre lo mejor. Por ser madre, padre y amiga a la vez.

A mi hermanito por ser una de las razones más grandes de mi vida para salir adelante y permitirme encontrar en él la fortaleza para superar hasta el más grande de los obstáculos.

A mis abuelos por su inmenso sacrificio, su apoyo incondicional y sus valiosas enseñanzas.

A mis tíos y tías por ser un magnífico ejemplo de vida y un modelo a seguir.

A mis primos y primas por llenar mi vida de alegría y recuerdos maravillosos.

A mis amigos y amigas por su compañía, sus palabras de aliento y las anécdotas compartidas.

A los docentes de la FIET por transmitirme su conocimiento y por su valiosa contribución a mi desarrollo como futuro profesional.

A todos ustedes... Muchas Gracias!!!

Juan Andrés Cárdenas Díaz

Mi profundo agradecimiento y respeto al director de este trabajo de grado, el ingeniero Víctor Manuel Quintero Florez, por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la concreción de este proyecto.

A mi madre Martha, como una muestra de mi inmenso cariño y agradecimiento, por todo el amor y el apoyo que siempre me ha brindado y porque gracias a su sabiduría y consejo hoy veo llegar a su fin una de las metas de mi vida, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir. Gracias mamá por hacer de mí la persona que soy hoy en día.

A mi padre Libardo, que desde la distancia siempre me apoyó y alentó, me envió todo su amor y buena energía, y me enseñó que la vida nos retribuye con maravillas todos nuestros sacrificios.

A mi hermana July, quien siempre fue mi modelo a seguir, por su grandioso e invaluable conocimiento, por guiarme en incontables ocasiones y por expresarme cada día su inmenso cariño y dedicación.

A mis familiares, por su incondicionalidad y soporte, por sus palabras de ánimo y cariño.

A mi novia Carolina, por su amor e inmensa comprensión. Gracias por alentarme cada día en los momentos difíciles de este trabajo y hacer de mí una persona tan feliz.

Gracias a mis amigos, que siempre me prestaron gran apoyo moral y humano.

Mis logros son el fruto del reconocimiento y apoyo vital que siempre me han ofrecido las personas que me estiman, sin los cuales nunca hubiera tenido la fuerza y energía que me anima a crecer como persona y ahora como profesional.

Martha y July, todos mis éxitos y metas están inspirados en ustedes dos, este trabajo es también el suyo.

Con la promesa de seguir siempre adelante e infinitamente agradecido,

Libardo Andrés Samboní Rubio

TABLA DE CONTENIDO

1. SERVICIOS BASADOS EN LOCALIZACIÓN Y SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES	2
1.1 SERVICIOS BASADOS EN LOCALIZACIÓN	2
1.1.1 Sistemas de Información Geográfica	5
1.1.2 Tecnologías de Posicionamiento	6
1.1.2.1 Sistemas GNSS	6
1.1.2.2 Tecnologías de Localización Basadas en Red	8
1.1.2.3 Otras Tecnologías de Posicionamiento	10
1.1.2.4 Tecnologías Híbridas en Localización	10
1.1.3 Sistemas de Comunicaciones Móviles	11
1.1.3.1 Radio Convencional	11
1.1.3.2 Radio Troncalizado (Trunking)	13
1.1.3.3 Sistema de Telefonía Móvil Celular	15
1.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES (ITS)	17
1.2.1 Sistemas de Localización Vehicular Automatizada (AVL)	17
1.2.1.1 Componentes de un Sistema AVL	19
1.2.2 Sistemas de Despacho Asistido por Computadora (CAD)	20
2. DESCRIPCIÓN DE HORUS	211
2.1 DEFINICIÓN	21
2.3 APLICACIONES DE HORUS	23
2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA	25
2.4.1 Bloque Unidad Móvil	25
2.4.2. Bloque Radios Móviles	26
2.4.3 Bloque Estación de Control	27
2.5 FUNCIONES GENERALES DE LOS BLOQUES DEL SISTEMA	28
2.5.1 Bloque Unidad Móvil	29
2.5.2 Bloque Radios Móviles	30
2.5.3 Bloque Estación de Control	31
2.6 VENTAJAS DE HORUS FRENTE A SISTEMAS TRADICIONALES DE DESPACHO	32
3. IMPLEMENTACIÓN DE HORUS	34
3.1 UNIDAD MOVIL	34
3.1.1 Receptor GPS	34
3.1.2 Unidad de Control y Almacenamiento	35

3.1.2.1 PIC 18F452	35
3.1.2.2 Teclado	36
3.1.2.3 Botón pánico	37
3.1.2.4 Señal sonora	37
3.1.2.5 Menú	38
3.1.3 Unidad de Despliegue de Información	38
3.1.4 Implementación Hardware Unidad Móvil	40
3.1.4.1 Tarjeta de Control y Despliegue Móvil	40
3.1.4.2 Tarjeta de Adaptación Radio	42
3.1.4.3 Circuito Adaptador de Voltaje	48
3.1.4.4 Interfaz Física de Usuario de la Unidad Móvil	48
3.2 SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO	49
3.2.1 Radio Motorola PRO3100	49
3.2.1.1 Puerto de Datos Radio Motorola	50
3.2.1.2 Cálculo del Ancho de Banda Teórico	51
3.3 ESTACIÓN DE CONTROL	52
3.3.1 Interfaces del Bloque Estación de Control	53
3.3.1.1 Interfaz Cliente Web - Servidor Central	53
3.3.1.2 Interfaz Servidor de Mapas - Servidor Central	54
3.3.1.3 Interfaz Base de Datos - Servidor Central	54
3.3.1.4 Interfaz Unidad de Control EC - Servidor Central	55
3.3.1.4.1 Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento (UCCA-EC)	56
3.3.1.4.1.1 Conexión Serial	56
3.3.1.5 Interfaz Cliente Móvil - Servidor Central	57
3.3.1.6 Interfaz Servidor de Mapas - Cliente Móvil	58
3.3.1.7 Interfaz Red de Telefonía Móvil Celular - Servidor Central	58
3.3.2 Descripción de Aplicaciones Implementadas en el Bloque Estación Control	59
3.3.2.1 Descripción de la Aplicación para el Servidor Central	59
3.3.2.1.1 Paquete Vista	60
3.3.2.1.2 Paquete Control	60
3.3.2.1.3 Paquete Lógica	60
3.3.2.1.4 Paquete Conexión	60
3.3.2.1.5 Paquete Persistencia	61
3.3.2.2 Descripción de la Aplicación para el Cliente Móvil	61
3.3.2.2.1 Paquete Vista	62
3.3.2.2.2 Paquete Control	62
3.3.2.2.3 Paquete Lógica	62
3.3.2.2.4 Paquete Conexión	62
3.3.2.2.5 Paquete Recursos	63
3.3.3 Estructura y Diseño de la Base de Datos	63

3.4 PROTOCOLO IMPLEMENTADO PARA LA COMUNICACIÓN DE DATOS.....	64
3.4.1 Comunicación Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC - Unidad Móvil	67
3.4.2 Comunicación Unidad Móvil - Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento	68
3.4.3 Comunicación Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento – Servidor Central	69
3.4.4 Comunicación Servidor Central - Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento	69
4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	71
4.1 CÁLCULO DE LA TASA DE ERROR DE BIT	71
4.1.1 Descripción de la Aplicación Desarrollada y sus Interfaces	71
4.1.2 Procedimiento y Resultados	73
4.2 DESEMPEÑO DE LAS APLICACIONES SOFTWARE DESARROLLADAS E IMPLEMENTADAS EN HORUS	85
4.2.1. Descripción de los Criterios de Evaluación.....	85
4.2.2 Análisis y Resultados Obtenidos con Base en los Criterios de Evaluación	86
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	102
5.1 CONCLUSIONES	102
5.2 RECOMENDACIONES.....	104
5.3 TRABAJOS FUTUROS.....	105

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1. Representación de una agrupación de 7 celdas conformando un <i>cluster</i> .	16
Figura 1.2. Esquema general de un sistema AVL.	18
Figura 2.1. Estructura general de HORUS.	22
Figura 2.2. Distribución de los componentes de HORUS.	23
Figura 2.3. Diagrama general de casos de uso para HORUS.	24
Figura 2.4. Diagrama general de bloques del sistema.	25
Figura 2.5. Diagrama de bloques unidad móvil.	26
Figura 2.6. Diagrama de bloques radios móviles.	27
Figura 2.7. Diagrama del bloque estación de control.	27
Figura 2.8. Diagrama de secuencia Transmitir Posición.	30
Figura 2.9. Funciones de los componentes del Bloque Radios Móviles.	30
Figura 2.10. Diagrama de secuencia Rastreo de Vehículos.	32
Figura 2.11. Modelo de objetos del negocio para el caso de uso “Despachar Vehículo” implementado en HORUS.	33
Figura 3.1. Módulo GPS EM-406A utilizado en HORUS.	34
Figura 3.2. Distribución de pines del PIC 18F452.	36
Figura 3.3. Teclado Alfanumérico.	36
Figura 3.4. Diagrama circuital de la matriz que conforma al teclado y resistencias <i>Pull-Up</i> de las filas.	37
Figura 3.5. Pulsador convencional utilizado como botón de pánico.	37
Figura 3.6. <i>Buzzer</i> y circuito implementado para la señal sonora.	37
Figura 3.7. LCD JHD 162A.	38
Figura 3.8. Distribución de pines del módulo LCD.	39
Figura 3.9. Etapas hardware que conforman la tarjeta de control y despliegue móvil.	40
Figura 3.10. Diagrama circuital de la tarjeta de control y despliegue móvil.	41
Figura 3.11. Etapas hardware que conforman la tarjeta de adaptación radio.	42
Figura 3.12. Amplificador en configuración sumador inversor utilizado para generar la codificación HDB3.	43
Figura 3.13. Filtro limitador de banda en transmisión.	44
Figura 3.14. Respuesta en frecuencia del filtro diseñado.	44
Figura 3.15. Filtro eliminador de DC.	45
Figura 3.16. Amplificador de voltaje.	45
Figura 3.17. Diagrama circuital de los comparadores con histéresis encargados de la detección de pulsos positivos y negativos.	46
Figura 3.18. Comportamiento de comparador con histéresis.	47
Figura 3.19. Representación gráfica de las franjas de voltaje generadas por dos comparadores con histéresis.	47

Figura 3.20. Diagrama circuital de adaptador de voltaje fijo (12V) a voltaje dual ($\pm 5V$).....	48
Figura 3.21. Interfaz física de usuario de la unidad móvil.	49
Figura 3.22. Radio Motorola PRO3100.....	50
Figura 3.23. Puerto de datos radio Motorola PRO3100.	50
Figura 3.24. Arquitectura básica de HORUS para el despliegue de servicios.	52
Figura 3.25. Estructura de la interfaz Cliente Web – Servidor Central.	53
Figura 3.26. Estructura de la interfaz Servidor de Mapas – Servidor Central.....	54
Figura 3.27. Estructura de la interfaz Base de Datos – Servidor Central.	55
Figura 3.28. Estructura de la interfaz Unidad de Control EC – Servidor Central.	55
Figura 3.29. Etapas hardware que conforman la tarjeta de la UCCA-EC.....	56
Figura 3.30. Diagrama circuital que permite una comunicación serial.	57
Figura 3.31. Estructura de la interfaz Cliente Móvil – Servidor Central.	57
Figura 3.32. Estructura de la interfaz Cliente Móvil – Servidor de Mapas.	58
Figura 3.33. Estructura de la interfaz Red de Telefonía Móvil Celular – Servidor Central.	58
Figura 3.34. Diagrama de paquetes para HorusWebApp.	59
Figura 3.35. Diagrama de paquetes para HorusMobileApp.	62
Figura 3.36. Modelo Entidad/Relación para la base de datos implementada en HORUS.	64
Figura 3.37. Estructura de las tramas implementadas en el protocolo de HORUS para la transmisión de datos.	65
Figura 3.38. Ejemplo de implementación de una trama en HORUS.	68
Figura 4.1. Interfaz de usuario en la estación de control para el cálculo de la tasa de errores de bit (BER).....	72
Figura 4.2. Interfaz hardware de usuario del prototipo de pruebas Unidad Móvil	73
Figura 4.3. Antena Yagi y su patrón de radiación.	73
Figura 4.4. Radio móvil, computador y tarjeta de UCCA-EC en la estación de control.....	74
Figura 4.5. Radio móvil, unidad móvil y antena Hustler.	74
Figura 4.6. Recepción de datos con secuencia 1 y velocidad de transmisión de datos de 1500 bps.	75
Figura 4.7. Recepción de datos con secuencia 2 y velocidad de transmisión de datos de 1500 bps.	76
Figura 4.8. Potencia de recepción vs. Distancia de separación de los radios Motorola PRO3100.....	79
Figura 4.9. Antena Omnidireccional Motorola usada en la estación central y patrón de radiación omnidireccional.....	80
Figura 4.10. BER vs. potencia de recepción.....	82
Figura 4.11. BER vs. Eb/No	82
Figura 4.12. Recepción de datos con secuencia 1, velocidad de transmisión de datos de 2000 bps.	83

Figura 4.13. Recepción de datos con secuencia 1, velocidad de transmisión de datos de 2000 bps, con vehículo en movimiento a velocidad entre 20 y 40 Km/h.	84
Figura 4.14. Interfaz de validación para usuarios web.....	87
Figura 4.15. Interfaz de validación para clientes móviles.....	88
Figura 4.16. Barra de navegación implementada en los mapas de Google.	88
Figura 4.17. Teclas de navegación del dispositivo móvil.	89
Figura 4.18. Tipos de mapa y barra de zoom para la aplicación web.	89
Figura 4.19. Tipos de mapa y opciones de zoom implementadas en la aplicación móvil.	90
Figura 4.20. Visualización de la posición geográfica en la aplicación web.....	90
Figura 4.21. Visualización de la posición geográfica en la aplicación móvil.	91
Figura 4.22. Visualización del recorrido en la aplicación web.	91
Figura 4.23. Visualización del recorrido en la aplicación móvil.	92
Figura 4.24. Elementos de la Interfaz web de HORUS para el despacho vehicular.	92
Figura 4.25. Búsqueda de direcciones.	93
Figura 4.26. Campos de texto para envío de mensajes.	93
Figura 4.27. Interfaz para despliegue de información en la aplicación web.	94
Figura 4.28. Interfaces para despliegue de información en la aplicación móvil.	95
Figura 4.29. Elementos de búsqueda para la interfaz de gestión de usuarios.	95
Figura 4.30. Botones para la gestión de usuarios.....	95
Figura 4.31. Elementos de búsqueda para tareas asignadas.	96
Figura 4.32. Elementos implementados para gestionar tareas.	96
Figura 4.33. Alertas utilizadas para reportar errores durante el proceso de validación en la aplicación web.....	97
Figura 4.34. Alarmas utilizadas para reportar errores durante el proceso de validación en la aplicación móvil.	98
Figura 4.35. Alertas utilizadas para reportar errores durante el proceso de localización y rastreo de vehículos en la aplicación web.....	98
Figura 4.36. Alarma utilizada para reportar errores de conexión con el servidor de mapas en la aplicación móvil.	99
Figura 4.37. Alertas utilizadas para reportar errores en el proceso de búsqueda de usuarios.....	99
Figura 4.38. Alertas utilizadas para reportar un proceso exitoso durante la gestión de usuarios.....	100
Figura 4.39. Alertas utilizadas para reportar un error durante la gestión de usuarios.....	100
Figura 4.40. Alerta utilizadas para reportar errores en el proceso de búsqueda de tareas.	100
Figura 4.41. Alerta utilizada para reportar un proceso exitoso durante el registro de una nueva tarea.	101

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1. Comparación entre tecnologías GNSS y NBL.	9
Tabla 1.2. Parámetros típicos en sistemas de radio móvil privado.	13
Tabla 1.3. Técnicas de acceso múltiple, tipo de modulación y canalización utilizadas en las 3 primeras generaciones de las redes de telefonía móvil celular.	17
Tabla 3.1. Funcionalidad de los pines del módulo LCD.....	39
Tabla 3.2. Voltajes de salida en función a los bits de entrada	43
Tabla 3.3. Configuración del radio Motorola PRO3100.....	50
Tabla 4.1. Distancia entre locaciones de prueba y estación de control.....	78
Tabla 4.2. Relación entre voltaje RSSI y potencia de recepción.....	78
Tabla 4.3. Relación Eb/No para las locaciones de la prueba de vehículo con unidad móvil en dirección al lóbulo principal de antena de estación de control.....	79
Tabla 4.4. BER en condiciones críticas, vehículo con unidad móvil alejado de lóbulo principal de antena de estación de control.	81
Tabla 4.5. Relación Eb/No para las locaciones de la prueba de vehículo con unidad móvil alejado del lóbulo principal de antena de estación de control.	82
Tabla 4.6. Bits errados recibidos en la estación de control cuando el vehículo se encuentra en movimiento.....	84
Tabla 4.7. Criterios de evaluación definidos para las aplicaciones desarrolladas en HORUS	86

LISTADO DE ACRÓNIMOS

AM:	Modulación de Amplitud (<i>Amplitude Modulation</i>).
ANN:	Redes Neuronales Artificiales (<i>Artificial Neural Network</i>).
API:	Interfaz de Programación de Aplicaciones (<i>Application Programming Interface</i>).
ASCII:	Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información (<i>American Standard Code for Information Interchange</i>).
AVL:	Localización Automática de Vehículos (<i>Automatic Vehicle Location</i>).
CAD:	Despacho Asistido por Computador (<i>Computer Aided Dispatch</i>).
CCI:	Interferencia Cocanal (<i>Co-Channel Interference</i>).
CDMA:	Acceso Múltiple por División de Código (<i>Code Division Multiple Access</i>).
CI:	Identidad Celular (<i>Cell Identity</i>).
CLDC:	Configuración de Conexión Limitada para Dispositivos (<i>Connection Limited Device Configuration</i>).
CSC:	Tarjeta Inteligente sin Contacto (<i>Contactless Smart Card</i>).
CSQ:	Detección de Portadora (<i>Carrier Squelch</i>).
DaoGen:	Generador de Código de Objetos para Acceso a Datos (<i>Data Access Object Code Generator</i>).
DBMS:	Sistema de Gestión de Base de Datos (<i>Data Base Management System</i>).
DCE:	Equipo de Comunicación de Datos (<i>Data Communication Equipment</i>).
DEM:	Modelo de Elevación Digital (<i>Digital Elevation Model</i>).
D-GPS:	Sistema de Posicionamiento Geográfico Diferencial (<i>Differential Global Positioning System</i>).
DOD:	Departamento de Defensa de los Estados Unidos (<i>United States Department of Defense</i>).
DOM:	Modelo de Objetos para la Representación de Documentos (<i>Document Object Model</i>).
DTE:	Terminal de Datos (<i>Data Terminal Equipment</i>).
EDGE:	Velocidades de Transmisión de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM

(Enhanced Data Rates for GSM Evolution).

EGNOS:	Servicio Europeo de Navegación por Complemento Geoestacionario (<i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i>).
E-OTD:	Mejora en la Diferencia de Tiempo Observada (<i>Enhanced Observed Time Difference</i>).
ESA:	Agencia Espacial Europea (<i>European Space Agency</i>).
FDMA:	Acceso Múltiple por División de Frecuencia (<i>Frequency Division Multiple Access</i>).
FFSK:	Modulación por Desplazamiento de Frecuencia Rápida (<i>Fast Frequency-Shift Keying</i>).
FM:	Modulación de Frecuencia (<i>Frequency Modulation</i>).
FSK:	Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (<i>Frequency-Shift Keying</i>).
GAGAN:	Navegación Aumentada por GPS y GEO (<i>GPS and GEO Augmented Navigation</i>).
GEO:	Órbita Geoestacionaria (<i>Geostationary Earth Orbit</i>).
GIS:	Sistema de Información Geográfica (<i>Geographic Information System</i>).
GLONASS:	Sistema Global de Navegación por Satélite (<i>Global Navigation Satellite System</i>).
GND:	Tierra (<i>Ground</i>).
GNSS:	Sistema Global de Navegación por Satélite (<i>Global Navigation Satellite System</i>).
GNU-LGPL:	Licencia Pública General para Librerías de GNU (<i>GNU Lesser General Public License</i>).
GPRS:	Servicio General de Paquetes Vía Radio (<i>General Packet Radio Service</i>).
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global (<i>Global Positioning System</i>).
GSM:	Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (<i>Global System for Mobile Communications</i>).
HLR:	Registro de Ubicación de Usuarios (<i>Home Location Register</i>).
HTML:	Lenguaje de Marcación de Hipertexto (<i>HyperText Markup Language</i>).
HTTP:	Protocolo de Transferencia de Hipertexto (<i>Hypertext Transfer Protocol</i>).
IDE:	Entorno de Desarrollo Integrado (<i>Integrated Development Environment</i>).
IR:	Radiación por Infrarrojo (<i>Infrared Radiation</i>).
ITS:	Sistemas de Transporte Inteligente (<i>Intelligent Transport Systems</i>).

J2ME:	Plataforma Java, Edición Micro (<i>Java Platform, Micro Edition</i>).
JDBC:	API de Java para Conexión de Bases de Datos (<i>Java Database Connection</i>).
JEE:	Edición Empresarial de la Plataforma Java (<i>Java Platform Enterprise Edition</i>).
JPA:	API para Persistencia de Java (<i>Java API Persistence</i>).
JSP:	Páginas Java de Servidor (<i>Java Server Pages</i>).
LBS:	Servicios Basados en Localización (<i>Location Based Services</i>).
LED:	Diodo Emisor de Luz (<i>Light-Emitting Diode</i>).
MDRF:	Ministerio de Defensa de la Federación Rusa (<i>Ministry of Defence of the Russian Federation</i>).
MDT:	Terminal Móvil de Datos (<i>Mobile Data Terminal</i>).
MIDP:	Perfil de Información para Dispositivos Móviles (<i>Mobile Information Device Profile</i>).
MSAS:	Sistema de Aumentación Satelital Multifuncional (<i>Multi-Functional Satellite Augmentation System</i>).
MSK:	Modulación por Desplazamiento Mínimo (<i>Minimum-Shift Keying</i>).
NBL:	Localización Basada en Red (<i>Network Based Location</i>).
NTIC:	Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación.
OTD:	Diferencia de Tiempo Observada (<i>Observed Time Difference</i>).
PABX:	Central Secundaria Privada Automática (<i>Private Automatic Branch Exchange</i>).
PAMR:	Radio Móvil de Acceso Público (<i>Public Access Mobile Radio</i>).
PC:	Computador Personal (<i>Personal Computer</i>).
PCB:	Tarjeta de Circuito Impreso (<i>Printed Circuit Board</i>).
PDA:	Asistente Digital Personal (<i>Personal Digital Assistant</i>).
PDI:	Puntos de Interés.
PIC:	Controlador de Interfaz Periférico (<i>Peripheral Interface Controller</i>).
PMR:	Radio Móvil Privado (<i>Private Mobile Radio</i>).
PSK:	Modulación por Desplazamiento de Fase (<i>Phase-Shift Keying</i>).
PTT:	Pulse Para Hablar (<i>Push To Talk</i>).

QAM:	Modulación de Amplitud en Cuadratura (<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>).
QZSS:	Sistema por Satélite Quasi-Zenith (<i>Quasi-Zenith Satellite System</i>).
RF:	Radio Frecuencia (<i>Radio Frequency</i>).
RPC:	Llamada a Procedimientos Remotos (<i>Remote Procedure Call</i>).
RS-232:	Estándar Recomendado 232 (<i>Recommended Standard 232</i>).
RSSI:	Indicador de Intensidad de de la Señal Recibida (<i>Receive Signal Strength Indication</i>).
RTPC:	Red Telefónica Pública Conmutada.
SBAS:	Sistema de Aumentación Basado en Satélites (<i>Satellite Based Augmentation System</i>).
SDK:	Kit de Desarrollo de Software (<i>Software Development Kit</i>).
SIG:	Sistemas de Información Geográfica.
SMS:	Servicio de Mensajes Cortos (<i>Short Message Service</i>).
SMSC:	Centro de Mensajes Cortos (<i>Short Message Service Center</i>).
SOAP:	Protocolo Simple de Acceso a Objetos (<i>Simple Object Access Protocol</i>).
SQL:	Lenguaje de Consulta Estructurado (<i>Structured Query Language</i>).
TDMA:	Acceso Múltiple por División de Tiempo (<i>Time Division Multiple Access</i>).
TETRA:	Sistema de Radio Troncalizado Trans-Europeo (<i>Trans-European Trunked Radio System</i>).
UML:	Lenguaje Unificado de Modelado (<i>Unified Modeling Language</i>).
URL:	Localizadores de Recursos Uniformes (<i>Uniform Resource Locator</i>).
USART:	Transmisor y Receptor Sincrónico/Asincrónico Universal (<i>Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter</i>).
U-TDOA:	Diferencia de Tiempo de Llegada en el Enlace de Subida (<i>Uplink Time Difference of Arrival</i>).
VHF:	Muy Alta Frecuencia (<i>Very High Frequency</i>).
VLR:	Registro de Ubicación de usuarios Visitantes (<i>Visitor Location Register</i>).
VLS:	Sistema de Localización Vehicular (<i>Vehicle Location System</i>).
WAAS:	Sistemas de Aumentación para Áreas Extensas (<i>Wide Area Augmentation Systems</i>).

-
- WAGE:** GPS Mejorado de Área Amplia (*Wide Area GPS Enhancement*).
- WSDL:** Lenguaje para Descripción de Servicios Web (*Services Description Language*).
- WSN:** Redes Inalámbricas de Sensores (*Wireless Sensor Network*).
- XML:** Lenguaje Extensible de Marcas (*Extensible Markup Language*).

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de monitoreo y control vehicular han sido desarrollados con el objetivo de ofrecer servicios de localización, seguimiento y control de vehículos, a través de diferentes tipos de redes. Con el avance de la tecnología los servicios y aplicaciones ofrecidos por los sistemas de Localización Automática de Vehículos (AVL, *Automatic Vehicle Location*) se hacen cada vez más robustos. Sin embargo la migración hacia nuevas tecnologías conlleva un alto costo que muchas empresas y usuarios no pueden asumir.

HORUS es un sistema de monitoreo y control vehicular que permite implementar las características de AVL y que hace uso de tecnologías existentes, como los radios convencionales de dos vías utilizados generalmente sólo para la transmisión de voz, para dar soporte a aplicaciones adicionales que complementan las funciones de rastreo y control vehicular con servicios de valor agregado. La utilización del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, *Global Positioning System*) permite obtener datos de posicionamiento más precisos que facilitan las tareas de gestión y vigilancia de los elementos móviles a través de diferentes aplicaciones.

El sistema permite la interconexión entre una unidad móvil y una estación de control, a través de radios convencionales de dos vías, facilitando la manipulación de los datos de posicionamiento enviados por un dispositivo GPS para implementar diferentes servicios sobre entornos y plataformas variadas, que faciliten realizar la gestión vehicular a través de las aplicaciones desarrolladas.

HORUS busca convertirse en una alternativa práctica y de bajo costo para las empresas de transporte públicas y privadas, solucionando los problemas básicos de monitoreo y control de los vehículos, tareas y usuarios asociados a un sistema AVL.

En el presente documento se describe el desarrollo e implementación de HORUS. Inicialmente se hace una descripción general de las tecnologías involucradas en la ejecución del proyecto, posteriormente se define y explica el diseño y arquitectura empleada para el despliegue de los servicios, donde se hace la descripción de los componentes que conforman el sistema junto con su respectiva implementación. Finalmente se mencionan las pruebas funcionales realizadas al sistema y resultados obtenidos, a partir de los cuales se generan las conclusiones, recomendaciones y sugerencias para trabajos futuros relacionados con el proyecto.

1

SERVICIOS BASADOS EN LOCALIZACIÓN Y SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES

1.1 SERVICIOS BASADOS EN LOCALIZACIÓN

Los Servicios Basados en Localización (LBS, *Location Based Services*) buscan ofrecer a los usuarios de un sistema de telecomunicaciones un servicio personalizado haciendo uso de la información de ubicación geográfica (1), es decir, aquellos datos espaciales georreferenciados¹ requeridos como parte de operaciones científicas, administrativas o legales. Dichos geodatos pueden representar la información geográfica de manera implícita (la población de un área determinada, condiciones climáticas, características del relieve, etc.) o explícita (coordenadas específicas brindadas por un dispositivo de posicionamiento global, como latitud y longitud) (2).

El funcionamiento de un LBS generalmente depende de un Sistema de Información Geográfica (GIS, *Geographic Information System*), el cual permite representar y desplegar la información geográfica; de tecnologías de posicionamiento que permitan obtener las coordenadas geográficas; y de sistemas de comunicación móvil que permitan transmitir las coordenadas geográficas al sistema de información, para que sean procesadas y se genere una acción de acuerdo con el propósito del LBS.

Existen dos modos de trabajo: Sistema LBS activo y sistema LBS pasivo. Un sistema LBS activo se enfoca principalmente en usuarios móviles particulares con el fin proveerles información relacionada con servicios de su interés. Los sistemas LBS pasivos generalmente son diseñados para clientes empresariales que requieren administrar recursos móviles (ejemplo, conocer en tiempo real la ubicación de un grupo de trabajo o una fuerza de ventas en campo) y tomar decisiones (ejemplo: definir estrategias de geomarketing²). Un LBS puede clasificarse de la siguiente manera (3):

- **Desde la perspectiva del usuario final:** Aplicaciones relacionadas con información

¹ Datos de localización de un objeto asociados a coordenadas geográficas reales.

² Es una disciplina de gran potencialidad que aporta información para la toma de decisiones de negocio con base en la variable espacial. Permite analizar la situación de un negocio o un mercado específico mediante la localización exacta de los clientes, puntos de venta, sucursales, competencia, etc; localizándolos sobre un mapa digital o impreso a través de símbolos y colores personalizados.

del tráfico vehicular, ubicación geográfica, instrucciones de manejo para conductores, entretenimiento, publicidad, ubicación de sitios de interés, etc.

- **Desde la perspectiva de desarrolladores y proveedores:** Mapas, navegación GPS, búsquedas basadas en proximidad, guías de destinos, aplicaciones de seguimiento (vehículos, bienes o personas), publicidad y cualquier otro tipo de aplicación que genere valor agregado a las tecnologías de comunicación y beneficios para sus usuarios.

Las aplicaciones típicas LBS buscan proveer servicios para la gestión de la información en tiempo real a partir del posicionamiento geográfico. A continuación se menciona una amplia gama de ejemplos, algunos de los cuales son de gran beneficio desde la perspectiva individual y están enfocados en el consumidor, otros representan mayor beneficio para la sociedad en general, y otros son muy atractivos para el sector empresarial y el gobierno (4):

- **Cartografía automatizada.** Uno de los mayores beneficios de los LBS es la capacidad de generar mapas digitales con la ubicación actual de un usuario. La combinación de sistemas de información geográfica (SIG) e Internet, los principios de ubicación sensible en informática móvil y el acceso inalámbrico a datos desde dispositivos móviles han hecho posible que la cartografía automatizada pueda ser implementada en Internet y accesible a través de estos dispositivos, lo cual ha permitido que la demanda de aplicaciones basadas en cartografía digital se haya incrementado en los últimos años.
- **Navegación vehicular.** Esta aplicación LBS es actualmente una característica imprescindible en el mercado de los automóviles. Mediante una señal de GPS es posible indicar al usuario de un vehículo su posición y ofrecer paso a paso las instrucciones de navegación a través de un mapa en la pantalla o de instrucciones verbales. También es posible incluir en los vehículos, avisos automáticos en caso de daños o accidente, de tal manera que los servicios de emergencia pueden ser advertidos cuando se activa la bolsa de aire (*airbag*) de un vehículo o cuando presenta una falla mecánica.
- **Seguimiento de personas.** Mediante el implante de un chip GPS es posible conocer la ubicación de una persona a través de un teléfono móvil, un computador o de un dispositivo especialmente diseñado para este fin. Aunque el implante de chips en el cuerpo humano ha sido rechazado por los seres humanos debido a que atentan contra la privacidad, este tipo de aplicaciones están enfocadas al rastreo de personas con antecedentes penales o de animales tanto domésticos como salvajes.
- **Encontrar un amigo.** Es una aplicación LBS basada en la interacción social, que permite informar o alertar al usuario sobre la presencia cercana de amigos obteniendo

su ubicación desde el dispositivo móvil. Este tipo de aplicaciones pueden extenderse a una comunidad más amplia, permitiendo ubicar a los amigos en los eventos sociales y brindando la posibilidad de ofrecer otro tipo de servicios como el de encontrar pareja a partir del perfil de los usuarios.

- **Páginas amarillas.** El ejemplo clásico de un LBS es una aplicación de tipo páginas amarillas, es decir, la identificación de una empresa o negocio con base en la proximidad del usuario al establecimiento.
- **Guía turística.** Gracias a este tipo de aplicaciones, todo tipo de información turística se puede obtener a través de dispositivos móviles con base en la posición actual del usuario, lo cual se convierte en una ayuda valiosa para la toma de decisiones en un entorno desconocido. En pocas palabras, el dispositivo móvil se convierte en una guía turística basada en su posición.
- **Información de tráfico vehicular.** Los LBS pueden proporcionar información en tiempo real sobre las condiciones del tráfico vehicular. Actualmente existen muchas herramientas disponibles que detectan la ubicación actual del vehículo, la relacionan en tiempo real con los datos de la red de carreteras y alertan al conductor a través de una representación gráfica o mediante la síntesis de voz sobre posibles congestiones vehiculares o dificultades en su trayecto.
- **Sensores en tiempo real.** Además de la supervisión del flujo de tráfico, otros parámetros ambientales están siendo inspeccionados periódicamente. El uso de micro-sensores para adquisición de datos relacionados a nivel de contaminación y riesgo de inundación está aumentando y los datos capturados de esta manera pueden ser útiles para distintos tipos de usuarios.
- **Información meteorológica.** Otro de los aspectos que pueden dar lugar a aplicaciones populares es la generación en tiempo real de las predicciones meteorológicas.
- **Administración de transporte público.** El uso del GPS en vehículos se está convirtiendo en algo habitual para las empresas de transporte. Con la implementación de un sistema de seguimiento en la cabina, es posible gestionar de manera más eficiente la operación de los vehículos, controlar las entregas de forma remota y comprobar los tiempos de descanso o paradas durante el trayecto. Principios similares están siendo utilizados por empresas de taxi para registrar los recorridos y calcular las tarifas.

Se puede observar que hay una gama muy amplia de aplicaciones que pueden ser consideradas como LBS y aunque no todas fueron mencionadas existen otras que todavía están en proceso de desarrollo. Además hay obstáculos importantes en la proliferación de

aplicaciones basadas en LBS hacia toda la sociedad en general, en gran parte debido a las preocupaciones sobre la privacidad y la explotación comercial de los datos capturados a través de las redes sobre los hábitos de las personas (4). Como en tantos otros aspectos de las nuevas tecnologías, la implementación de LBS tiene implicaciones éticas. Actualmente el control está en manos de los usuarios, por lo cual es necesario regularlo y legislarlo para impedir que la tecnología sea utilizada inadecuadamente y genere efectos perjudiciales en la sociedad. Sin embargo, se puede predecir que los LBS continuarán expandiéndose y se convertirán en una herramienta masiva en la vida cotidiana (5).

1.1.1 Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS) es un conjunto integrado de hardware, software y datos geográficos, diseñado para capturar, almacenar, manipular, procesar y desplegar información geográficamente referenciada, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión (6). También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, procesar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada (7). En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, procesar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa o de una representación digital de la topografía del suelo, la superficie o el terreno, lo que generalmente es conocido como un Modelo de Elevación Digital (DEM, *Digital Elevation Model*). De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e inversamente, preguntando por un registro de la base de datos, se puede conocer su localización en un mapa.

NAVTEQ³ anunció en agosto del 2009 la disponibilidad de Mapas Intermedios para Colombia y Perú (8). Los Mapas Intermedios constituyen los mejores datos de terceros disponibles en un país, son una clase especial de datos suministrados por NAVTEQ como apoyo a los clientes interesados en introducir aplicaciones para LBS en mercados emergentes, los cuales permiten realizar el cálculo de rutas básicas. La oferta del Mapa Intermedio constituye una herramienta importante para los clientes que necesitan agilizar el tiempo de llegada al mercado en regiones claves del mundo. La cobertura del Mapa Intermedio para Colombia incluye más de 82.000 km de carreteras y más de 48.000 Puntos de Interés (PDI).

³ Proveedor global líder de mapas digitales, datos de tránsito y localización para soluciones vehiculares, móviles y portables para empresas. <http://www.navteq.com/>

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al usuario la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos.

La principal información que provee un Sistema de Información Geográfica (SIG), ordenada de menor a mayor complejidad, es (7):

- **Localización:** Obtener las coordenadas de un lugar concreto.
- **Condición:** El cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- **Tendencia:** Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- **Rutas:** Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- **Patrones:** Detección de patrones espaciales⁴.
- **Modelos:** generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica es muy amplio, utilizándose en la mayoría de las actividades como un componente espacial. La revolución que han provocado las Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación (NTIC) ha incidido de manera decisiva en su evolución.

1.1.2 Tecnologías de Posicionamiento

Las tecnologías de posicionamiento tienen como objetivo entregar información sobre la ubicación de un objeto en un área determinada. El sistema de posicionamiento de mayor uso por las aplicaciones industriales es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, *Global Positioning System*), basado en el Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS, *Global Navigation Satellite System*). Existen otros sistemas que pueden resultar más fiables, baratos y/o precisos dependiendo de la aplicación y el entorno. Por un lado, la Localización Basada en Red (NBL, *Network Based Location*) y por otro, están surgiendo sistemas más modernos para espacios interiores o entornos reducidos que tendrán cabida en el mercado de consumo del futuro (9). Finalmente, existen sistemas híbridos que combinan diferentes tecnologías para obtener mejores prestaciones.

1.1.2.1 Sistemas GNSS

El Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS) es un sistema de telecomunicaciones formado por una constelación de satélites que transmite señales utilizadas por receptores en tierra para el posicionamiento y localización de los mismos en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Estos sistemas permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción y

⁴ Hace referencia a las políticas, estándares, protocolos y procedimientos que rigen la distribución geográfica.

procesamiento de señales provenientes del sistema de satélites artificiales con fines geodésicos, hidrográficos, agrícolas, de navegación, transporte y otras actividades afines (10). Un sistema de navegación basado en satélites artificiales puede proporcionar a los usuarios información sobre la posición y la hora (cuatro dimensiones) con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas, datos a partir de los cuales también es posible calcular la velocidad de desplazamiento (11).

Actualmente existen dos sistemas que cumplen con el concepto de GNSS los cuales son:

- **Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se basa en el uso de señales procedentes de la constelación de satélites GPS para determinar la posición. El sistema utiliza un total de 24 satélites activos emplazados en seis planos orbitales⁵ cada uno con cuatro satélites. Esto permite que el dispositivo receptor detecte entre cinco y ocho satélites a la vez. El mínimo número de satélites necesario para el cálculo de la posición es cuatro, sin embargo, cuanto mayor sea éste, mayor será la precisión obtenida. En la sección A.1.1 del anexo A se describe el funcionamiento del GPS (12).

Existen diferentes iniciativas para mejorar la precisión y fiabilidad del GPS, sobre todo para navegación aérea. Por un lado se tiene el Sistema de Posicionamiento Geográfico Diferencial (D-GPS, *Differential GPS*), basado en la corrección de errores de posición debido a efectos de la ionosfera sobre la señal transmitida por los satélites y otras causas. Esta corrección se basa en un proceso conocido como corrección diferencial (9). Esta corrección utiliza una estación de referencia GPS que tiene una información de localización bien conocida y que proporciona la información necesaria para realizar las correcciones. Con este sistema se obtiene precisión, pero no fiabilidad.

Por otro lado, para conseguir precisión y a la vez fiabilidad, se tiene el Sistema Satelital Basado en Aumentación (SBAS, *Satellite Based Augmentation Systems*), el cual es un sistema de corrección de las señales que los sistemas GNSS transmiten al receptor GPS del usuario. Los sistemas SBAS mejoran el posicionamiento horizontal y vertical del receptor y dan información sobre la calidad de las señales (9). Aunque inicialmente fue desarrollado para dar una precisión mayor a la navegación aérea, cada vez se está generalizando más su uso en otro tipo de actividades que requieren el uso de señales GPS de baja potencia.

Actualmente se encuentran en fase de desarrollo e implementación los siguientes sistemas SBAS:

⁵ Hace referencia al plano geométrico en el cual se encuentra definida la órbita en la que gira el satélite alrededor de la tierra.

- **Sistemas de Aumentación para Areas Extensas (WAAS, *Wide Area Augmentation System*)**, gestionado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DOD, *United States Department of Defense*).
- **Servicios Europeo Complementario de Navegación Geostacionaria (EGNOS, *European Geostationary Navigation Overlay Service*)**, administrado por la Agencia Espacial Europea (ESA, *European Space Agency*).
- **GPS Mejorado de Área Amplia (WAGE, *Wide Area GPS Enhancement*)**, que transmite más precisión en los datos de efemérides y reloj de los satélites destinado a uso militar.
- **Sistema de Aumentación Satelital Multifuncional (MSAS, *Multi-Functional Satellite Augmentation System*)**, operado por Japón.
- **StarFire**, gestionado por la empresa John Deere.
- **Sistema por Satélite Quasi-Zenith (QZSS, *Quasi-Zenith Satellite System*)**, propuesto por Japón.
- **Navegación Aumentada por GPS y GEO (GAGAN, *GPS and GEO Augmented Navigation*)**, planeado por la India.

Junto a GPS, existe la versión rusa de un sistema GNSS denominada GLONASS (Global Navigation Satellite System) también compuesta por una constelación de 24 satélites.

- **GLONASS**

El Sistema Global de Navegación por Satélites (GLONASS, *Global Navigation Satellite System*) proporciona información de posición y velocidad; es decir, cuatro dimensiones basadas en las mediciones del tiempo de llegada al dispositivo receptor y del corrimiento Doppler de las señales de Radiofrecuencia (RF, *Radio Frequency*) transmitidas por los satélites GLONASS. El sistema es operado por el Ministerio de Defensa de la Federación Rusa (MDRF, *Ministry of Defence of the Russian Federation*) y ha sido utilizado como sistema de respaldo por algunos receptores comerciales cuyo sistema principal de localización se basa en GPS (9).

Tras la división de la Unión Soviética y la falta de recursos el sistema perdió operatividad debido a que los satélites no fueron reemplazados. La puesta en órbita de nuevos satélites para completar el programa de despliegue del sistema de navegación satelital ruso (GLONASS) será realizada a pesar de la crisis mundial y prestará servicios a usuarios de todo el mundo en diciembre de 2010 (13).

1.1.2.2 Tecnologías de Localización Basadas en Red

Las Tecnologías de Localización basadas en Red (NBL, *Network Based Localization*) permiten obtener información de posicionamiento o localización en toda el área de servicio de un operador de un sistema de comunicación móvil, incluyendo entornos urbanos e interiores (*indoor*). Actualmente, existen diversas iniciativas para estandarizar los mecanismos de interoperabilidad entre los prestadores del servicio de localización y los operadores de red, lo que demuestra la importancia que este servicio tiene para ambos (9). Entre este tipo de tecnologías cabe destacar las siguientes:

- Identificación Celular (CI, *Cell Identity*).
- Diferencia en Tiempo de Observación (OTD, *Observed Time Difference*).
- Diferencia Mejorada en Tiempo de Observación (E-OTD, *Enhanced Observed Time Difference*)
- Diferencia de Tiempo de Llegada en el Enlace de Subida (U-TDOA, *Uplink- Time Difference of Arrival*).

A continuación se presenta una descripción general de las tecnologías mencionadas.

- **Identificación Celular (CI).** La celda a la cual se encuentra conectado el terminal móvil es utilizada para el cálculo de la posición del terminal móvil. Por su escasa precisión (de 250m a 5km) se puede utilizar como sistema secundario o de resguardo para otras implementaciones o servicios que no requieren una alta precisión en la localización. Las ventajas de este método son su sencillez y el hecho de que no supone ningún impacto para la red o el terminal.
- **Diferencia de tiempo observada (OTD) y su variante E- OTD.** Se basan en el método Diferencia de Tiempo de Llegada (TDOA, *Time Difference of Arrival*), que calcula la posición de un terminal móvil mediante la diferencia de tiempo de llegada de señales procedentes u originadas en diferentes celdas (como mínimo, tres). Tiene como ventaja su relativa alta precisión (alrededor de 100m) y puede ser de gran utilidad para la implementación de servicios basados en localización (LBS), ya que son capaces de detectar la posición física de un teléfono móvil sin necesidad de que el usuario tenga que informarla.
- **Diferencia de Tiempo de Llegada en el Enlace de Subida (U-TDOA).** La señal es transmitida desde el terminal a las diferentes unidades de localización que se encuentran en las estaciones base. Este método proporciona mayor precisión que CI (50m a 150m) y no supone ningún impacto en el terminal. Es la opción más elegida por la mayoría de operadores móviles.

La Tabla 1.1 muestra una comparación entre las tecnologías NBL y las tecnologías GNSS.

TECNOLOGÍA	PRECISIÓN	COBERTURA
GPS	20m	Global
D-GPS	Variable (puede llegar a 1m)	Variable
SBAS	5m	Región de Influencia
GLONASS	57m a 60m	Global
Galileo	1m a 10m	Global
CI	250m a 5Km	Red del Operador
E-OTD	100m	Red del Operador
U-TDOA	50 a 150m	Red del Operador

Tabla 1.1. Comparación entre tecnologías GNSS y NBL.

1.1.2.3 Otras Tecnologías de Posicionamiento

Existen otras tecnologías para posicionamiento en entornos cerrados, interiores o reducidos como lo son:

- **Localización por infrarrojos (IR).** Cada usuario del sistema lleva un pequeño transmisor infrarrojo (IR), que transmite periódicamente un código de identificación único. El recinto está provisto de sensores que transmiten los datos recibidos a un servidor que calcula la posición de cada usuario. La precisión depende del área cubierta por cada sensor de las celdas que conforman la red (14).
- **Sistemas basados en la medida del nivel de potencia de la señal recibida o la relación señal a ruido.** Se basa en insertar a cada dispositivo a localizar un transmisor que emita periódicamente una señal de intensidad constante con el fin de medir la potencia de la señal en el receptor y calcular su posición con base en la diferencia de los niveles de potencia. Dependiendo de la señal transmitida, la localización puede realizarse por radiofrecuencia (RF) o ultrasonido. La ventaja que tiene este método con respecto al anterior es que requiere menos receptores por unidad de área.
- **Tecnología Ultra WideBand (UWB).** Mediante la transmisión de un pulso de muy corta duración en el tiempo (de banda muy ancha), se puede conseguir una precisión de centímetros, además de una gran inmunidad al desvanecimiento por multitrayecto, lo cual hace que este tipo de sistemas sean muy útiles en entornos cerrados (interiores).

1.1.2.4 Tecnologías Híbridas en Localización

Con respecto a las tecnologías híbridas existen dos enfoques: el primero se basa en que la tecnología de comunicación debe proporcionar información adicional que mejore las prestaciones del sistema de localización, y el segundo en la combinación de la posición proporcionada por dos tecnologías para dar un resultado más fiable. Un ejemplo del primer caso es el GPS asistido (A-GPS) (15). Aunque GPS proporciona una posición precisa, necesita una asistencia para corregir en cierta medida algunos problemas inherentes al sistema, tales como las situaciones en entornos donde el nivel de señal recibido es bajo o la señal directa está bloqueada (dentro de edificios o entornos urbanos). Otro problema adicional es que el tiempo necesario en el sistema GPS desde que el receptor se enciende hasta que se engancha (TTFF, *Time To First Fix*) puede ser incluso mayor a diez minutos. Esto no es aceptable en situaciones críticas (por ejemplo en llamadas de emergencia) (9). A-GPS se basa en que el operador emplaza sus estaciones base en una posición fija con línea de vista a los satélites GPS, de tal forma que pueda ser la propia red la que proporcione al terminal GPS la información de posicionamiento. El hecho de que los satélites siempre estén en línea de vista, permite obtener estimaciones

más precisas de la fase de las señales recibidas, mejorando la precisión y el tiempo de respuesta de localización.

1.1.3 Sistemas de Comunicaciones Móviles

Las comunicaciones móviles tienen lugar cuando el emisor o el receptor están en movimiento o cuando ambos lo hacen. La movilidad de estos dos elementos ubicados en los extremos de la comunicación hace que prevalezca básicamente la comunicación vía radio y se convierte en una ventaja significativa. Otras ventajas de las redes inalámbricas son la capacidad de superar obstáculos en la transmisión (presencia de montañas y valles profundos, agua, precipicios, etc.) donde los costos de instalación de cable serían prohibitivos y difíciles de mantener, y el rápido despliegue que conllevan al no tener que realizar obra civil para implementar complejos tendidos de cable.

En una etapa inicial se implementaron sistemas de radiobúsqueda (*Paging*), redes móviles privadas de radio convencional y troncalizado (*Trunking*), y sistemas de telefonía móvil celular analógicos. Posteriormente surge la telefonía móvil digital, así como diversos dispositivos con interfaces radio para conectarse con redes u otros dispositivos, como agendas personales (PDA, *Personal Digital Assistant*), computadores portátiles (*laptops*) y minicomputadores.

El auge comercial de las comunicaciones móviles tuvo lugar a finales del siglo XX, y actualmente se está desarrollando y perfeccionando la fusión entre comunicaciones móviles e Internet (16).

1.1.3.1 Radio Convencional

En la radio convencional se hace uso de tecnologías analógicas. El principal problema de este tipo de emisiones es que la señal es vulnerable a todo tipo de ruidos e interferencias con otras señales. Estos fenómenos afectan la señal recibida sin que puedan eliminarse totalmente en recepción.

En radio convencional pueden encontrarse los Sistemas Radio de Dos Vías (*Two Way Radio Systems*), donde los equipos radio pueden transmitir y recibir información (transceptor), a diferencia de un receptor de radiodifusión que sólo recibe información. Los radios convencionales operan en canales RF fijos. En el caso de radios con múltiples canales, sólo pueden operar en un canal a la vez. El canal apropiado es seleccionado por el usuario a través del selector de canales o de los botones en el panel de control del equipo radio.

Las dos tecnologías de modulación más extendidas en los sistemas de radio convencional son la tecnología de Modulación de Amplitud (AM, *Amplitude Modulation*) y la Modulación de Frecuencia (FM, *Frequency Modulation*). En AM la amplitud de la onda portadora cambia de acuerdo a las variaciones del nivel de la señal moduladora o de información.

La demodulación es simple, por lo que los receptores son sencillos y baratos. Existen otras formas de AM como la modulación en Banda Lateral Única (SSB, *Single Side Band*) o la Doble Banda Lateral (DSB, *Double Side Band*), las cuales son más eficientes en ancho de banda o potencia, pero requieren de receptores más complejos. AM se usa en radiofonía, onda media, onda corta y en VHF (*Very High Frequency*), donde se puede aplicar para establecer las comunicaciones entre los aviones y las torres de control de los aeropuertos. Por su parte, en FM la frecuencia de la portadora varía de manera proporcional al nivel de la señal moduladora o de información. Esta clase de modulación se usa comúnmente en radiofrecuencias VHF por la buena calidad y fidelidad de la difusión de audio (Radio *FM*). En la radiodifusión FM se usa generalmente el tipo llamado amplia-*FM* (W-*FM*, *Wide-FM*) y en la radio de dos vías se suele usar banda estrecha (N-*FM*, *Narrow-FM*) (17).

Los sistemas móviles analógicos hacen uso de modulación analógica FM de banda estrecha, y utilizan Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA, *Frequency Division Multiple Access*) como técnica de acceso al medio.

Los sistemas convencionales de radio de dos vías pueden destinarse a transmitir voz únicamente, o transmitir voz y datos. La configuración radio puede establecerse para abarcar áreas pequeñas (locales), o áreas extensas (países o regiones) (18). A continuación se presentan los modos de operación con los que cuentan estos sistemas:

- **Unidad a unidad:** los usuarios se comunican directamente unos con otros sin necesidad de un control central. Este modo de operación se usa en un sistema de línea compartida (*Party Line*), el cual es un sistema de comunicación Simplex a una frecuencia, que consiste en una o más unidades de radio operando en la misma frecuencia, donde no se puede escuchar y hablar simultáneamente y sólo un radio puede transmitir a la vez, en el cual no existe privacidad y todos los usuarios pueden escuchar las comunicaciones. Un sistema de comunicaciones grande puede usar diferentes frecuencias para cubrir diferentes áreas. Algunas áreas de aplicación son: hoteles, restaurantes, centros comerciales, fábricas, fincas, seguridad, etc.
- **Sistema de despacho:** los usuarios se comunican directamente con un despachador o control central, el cual envía mensajes a los usuarios. El despachador es el único que puede escuchar todas las comunicaciones que viajan a través del sistema. Se usa un sistema simplex a dos frecuencias, donde el despacho está involucrado en todas las comunicaciones. Algunos sectores de aplicación son empresas de taxis, empresas de vigilancia, empresas de transporte y empresas de mensajería.
- **Sistema con repetidora:** Una repetidora radio es un tipo especial de estación base, consistente en un transmisor y un receptor, cuyo modo de operación es full-

dúplex ya que puede recibir y transmitir simultáneamente. La repetidora retransmite las comunicaciones de los usuarios en toda el área de servicio y permite aumentar el rango de cobertura del sistema, al estar ubicada en un lugar privilegiado. Las repetidoras pueden ser propias o comunitarias, estas últimas permiten que un número determinado de usuarios de diferentes sistemas compartan una misma repetidora, pagando simplemente una mensualidad sin tener que invertir en la compra del sistema completo.

- **Sistema de área extendida:** Estos sistemas enlazan repetidoras, permitiendo de esta manera que usuarios de sistemas alejados puedan establecer comunicaciones sin necesidad de que se encuentren dentro del área de cobertura de las repetidoras de las que son usuarios (19).

Inicialmente se constituyeron las redes de radio móvil privadas (PMR, *Private Mobile Radio*) convencionales. Estas redes de comunicaciones móviles no se encuentran conectadas de manera directa con la Red Telefónica Pública Conmutada (RTPC) y permiten la comunicación entre todos sus usuarios. En la tabla 1.2 (14) se presentan los parámetros típicos usados en este tipo de sistemas. La gama de aplicaciones de la radiotelefonía es muy amplia, aunque generalmente se encuentran dentro del ámbito de la gestión de flotas o en entornos en los que existe un centro de control que debe dar órdenes a un conjunto de terminales. En cuanto a los servicios soportados por redes PMR, además de la transmisión de voz, se encuentran las llamadas selectivas, la transmisión de datos, el telecontrol y la localización de vehículos.

Posteriormente, como evolución de los sistemas PMR aparecieron los sistemas de telefonía móvil públicos (PMT, *Public Mobile Telephony*), quienes se convirtieron en la aplicación de PMR a las redes públicas. Sin embargo PMR continuó desarrollándose por un camino paralelo, aplicado a las redes privadas.

	f_d (kHz)	f_m (kHz)	BdW (kHz)	Canal (kHz)
Servicio de voz 1	1.5	2.7	8.5	12.5
Servicio de voz 2	2.5	3,0	11,0	12.5
Servicio de datos	5.0	3.0	16.0	25.0

Tabla 1.2. Parámetros típicos en sistemas de radio móvil privado.

1.1.3.2 Radio Troncalizado (Trunking)

Los sistemas *trunking* surgen como respuesta a la congestión del espectro radioeléctrico y se basan en compartir un conjunto de canales por diferentes grupos de usuarios. A diferencia de los sistemas de radio convencional, estos sistemas hacen uso de un canal adicional y común a todas las unidades a través del cual viaja la señalización. El radio troncalizado está orientado a brindar servicios a grupos cerrados de usuarios, transmitiéndose voz (sistema telefónico convencional), datos, imágenes, video o señales

de control. Existen sistemas de radio troncalizado analógicos y digitales. El sistema digital presenta una mayor eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico y en algunos casos mayores ventajas en la calidad de voz, seguridad, comunicación de datos y compatibilidad con otras redes, respecto a los sistemas analógicos.

Una de las principales ventajas de los sistemas *trunking* frente a las redes PMR convencionales es la selección dinámica y automática de canales. Estos sistemas son privados y las comunicaciones se gestionan directamente desde un conmutador central. El uso del canal asignado es de uso exclusivo durante toda la comunicación, además, la llamada selectiva es una funcionalidad estándar de estas redes, a diferencia de las redes PMR.

En los sistemas *trunking* la asignación de frecuencias se realiza bajo demanda de los usuarios o elementos que las necesiten, lo cual hace necesario la implementación de un protocolo de señalización rápido y flexible. Por esta razón usualmente se utiliza señalización digital, y los equipos incorporan dos juegos de moduladores/demoduladores: Modulador/demodulador FM (analógico), para el canal de tráfico.

Modulador/demodulador digital por mínimo desplazamiento (MSK, *Minimum-Shift Keying*), para el canal de control.

Los sistemas *trunking* pueden clasificarse por el modo en que se asignan los canales:

- Asignación por llamada: cuando el canal es tomado hasta el final de la comunicación en curso. Esta es la situación habitual cuando la disponibilidad de canales en el sistema no es crítica.
- Asignación por transmisión: para cada sentido de transmisión simplex, cada vez que el usuario presiona el botón Pulse para Hablar (PTT, *Push to Talk*) el sistema le asigna un canal, el cual será liberado cuando se suelte el PTT. Esto conlleva a un importante ahorro de frecuencias.
- Asignación por cuasi-transmisión: similar al anterior con la diferencia de que el sistema no libera el canal inmediatamente después de soltar el PTT, sino que espera unos segundos para que la comunicación en curso sea retomada en el mismo recurso que tenía asignado.

Alguno de los servicios prestados por los sistemas *trunking* son: llamadas típicas de sistemas PMR, llamadas automáticas móvil/fijo si existe central secundaria privada automática (PABX, *Private Automatic Branch Exchange*) capaz de encaminarlas e interconectarse con la PSTN, prioridad de llamadas, grupos cerrados de usuarios, transmisión de datos, limitación en la duración de llamadas, estadísticas de tráfico, entre otros.

Tradicionalmente los sistemas *trunking* se caracterizaban por la existencia de equipos

propietarios de fabricantes concretos, sin embargo, a finales del siglo XX surgió una tendencia normalizadora con la aparición de MPT-1327, basado en tecnología analógica. El estándar más actual de *trunking* es el Sistema de Radio Troncalizado Trans-Europeo (TETRA, *Trans-European Trunked Radio System*) que define una red digital, abierta e interoperable con todo tipo de redes. MPT-1327 especifica un protocolo de señalización para los sistemas *trunking* en VHF. La señalización de llamadas se transporta sobre un canal de control común que puede ser dedicado, si el canal de control se emplea exclusivamente para la señalización con los móviles o, por el contrario que exista la posibilidad de usar el canal de control para cursar tráfico. Esta norma sólo afecta la interfaz radioeléctrica. Define un canal de señalización de 1200 bps y modulación por desplazamiento de frecuencia rápida (FFSK, *Fast Frequency Shift Keying*). Por su parte, TETRA es un estándar ETSI⁶ (*European Telecommunications Standards Institute*) de segunda generación de los sistemas PMR. Está orientado a organizaciones que necesitan una pequeña red móvil, con una cierta cobertura y poco tráfico. El estándar fue generado para interoperar con cualquier tipo de red que utilice la pasarela adecuada y soporte servicios tanto de voz como de datos.

En general, los sistemas *trunking* de radio digital pueden hacer uso de tres técnicas de modulación digital en el canal digital de tráfico: Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK, *Frequency-Shift Keying*), Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK, *Phase-Shift Keying*) y Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*) (20).

1.1.3.3 Sistema de Telefonía Móvil Celular

Los sistemas de telefonía móvil pública son sistemas telefónicos completos, con todas sus características de transmisión y conmutación. Habitualmente son definidos como redes móviles públicas terrestres (PLMN, *Public Land Mobile Networks*).

A continuación se realiza una descripción general de la arquitectura de una red PLMN:

Como primer elemento importante están las estaciones base (BTS, *Base Transceiver Stations*). Asociados a ellas se encuentran los controladores de estación base (BSC, *Base Station Controllers*), encargados de realizar las funciones de control de las BTS. El conjunto de BTS y BSC se conectan a los centros de conmutación (MSC, *Mobile Switching Center*) que son los centros de control del encaminamiento de las comunicaciones del conjunto de móviles en la red. Las BTS y los BSC hacen parte de la red de acceso, aunque no todos los sistemas celulares tienen BSC. Las MSC se comunican entre sí por medio de la red de transporte para realizar funciones de conmutación entre regiones y hacen parte del núcleo de la red. Asimismo, realizan funciones de señalización para el establecimiento y terminación de llamadas a y desde los móviles. El conjunto de interconexiones de unión de BTS con BSC y BSC con MSC se le

⁶ Organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones de Europa, con proyección mundial.

llama red fija o infraestructura de la red PLMN.

Las estaciones base son las encargadas de realizar el monitoreo, control, posicionamiento y regulación de potencia de los terminales móviles. Asimismo, se encargan del control y transmisión de servicios de mensajería (*paging*⁷), del monitoreo y reporte de alarmas, y del procesamiento de las transmisiones y recepciones de la información (21). Cada estación base tiene un área de cobertura teóricamente hexagonal, llamada celda, donde la comunicación entre un terminal y la estación base puede hacerse en buenas condiciones. La estación base transmite un conjunto de canales de tráfico junto con otros de señalización y se encarga de dar servicio a la celda. Cada canal está asociado a una frecuencia.

Un *cluster* se define como la totalidad de los canales disponibles que han sido asignados a un conjunto de celdas. En la figura 1.1 (22) se muestra una agrupación de 7 celdas que conforman un *cluster*.

Debido al número limitado de frecuencias en cada celda, se hace una reutilización de las mismas y se usan transmisores de baja potencia, lo que permite a usuarios de diferentes agrupaciones utilizar una misma frecuencia para llevar a cabo una comunicación. Sin embargo, la reutilización de frecuencias genera interferencia cocanal (CCI, *Co-Channel Interference*), por lo que se debe asegurar una separación o distancia mínima entre celdas que hacen uso de las mismas frecuencias de tal forma que se minimice el efecto y no sea percibido por el usuario.

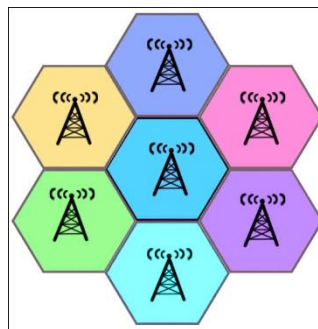


Figura 1.1. Representación de una agrupación de 7 celdas conformando un *cluster*.

Las distintas necesidades de los usuarios y avances tecnológicos dieron lugar a generaciones tecnológicas del sistema de telefonía móvil celular. A lo largo de esta evolución se fueron supliendo dichas necesidades y demandas, gracias a un incremento de las innovaciones tecnológicas e implementación de nuevos servicios. En la tabla 1.3 (14) se presentan algunas características de las tres primeras generaciones de la telefonía móvil celular. De igual forma, otro factor que propició el desarrollo de las comunicaciones móviles celulares fue la necesidad de migración de los sistemas analógicos al sistema digital con el fin de brindar una mayor capacidad, cobertura, y mayores velocidades de transmisión de datos para ofrecer servicios adicionales al de voz.

⁷ Servicios de comunicaciones móviles que permite recibir mensajes en formato de texto.

GENERACIÓN DE TELEFONÍA CELULAR	1G	2G	3G
Técnica de acceso múltiple	FDMA	TDMA TDMA/FDMA	CDMA
Tipo de Modulación	FM Banda Estrecha	GMSK, PSK	PSK Coherente
Canalización	Normal: PMR 16 kHz PMT 24 kHz Estrecha: PMR 8.5 kHz	Nx25 KHz 200 kHz para GSM ⁸	1.25 MHz 3.75 MHz 5 MHz

Tabla 1.3. Técnicas de acceso múltiple, tipo de modulación y canalización utilizadas en las 3 primeras generaciones de las redes de telefonía móvil celular.

1.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES (ITS)

Un Sistema de Transporte Inteligente (ITS, *Intelligent Transport System*) es un conjunto de soluciones tecnológicas de telecomunicaciones y telemática diseñadas para mejorar la operación y seguridad del transporte terrestre (23). Los sistemas inteligentes de transporte recolectan, almacenan, procesan y distribuyen información relacionada al movimiento de personas y bienes. Algunos ejemplos incluyen los sistemas para la gestión de tránsito, la gestión del transporte público, el manejo de emergencias, la seguridad y el control avanzado de los vehículos, las operaciones de vehículos comerciales, el pago electrónico y el cruce seguro a nivel de las líneas de ferrocarril. Un ITS puede considerarse como un Servicio Basado en Localización en el cual se hace uso de la tecnología en transportes para salvar vidas y ahorrar tiempo y dinero (24).

Generalmente un ITS está compuesto por sistemas de Localización Automática de Vehículos (AVL) y Despacho Asistido por Computadora (CAD, *Computer Aided Dispatch*) (24).

1.2.1 Sistemas de Localización Vehicular Automatizada (AVL)

Los Sistemas AVL son utilizados para monitorear y controlar la trayectoria de un vehículo, ubicar su posición y mostrarla de manera gráfica en un mapa. Cada vehículo es equipado con un módulo receptor que recibe señales desde una serie de satélites, los cuales permiten calcular la ubicación geográfica, velocidad y rumbo entre otros datos del vehículo. La información puede ser entregada al conductor del vehículo, procesada y almacenada para una posterior descarga, o puede ser transmitida a una estación base/control donde es procesada en tiempo real en pantalla, en un sistema central (25). Esto permite implementar sistemas de rastreo y control que ofrecen características de seguridad y ayudan a gestionar diferentes tareas entre varias unidades móviles que se encuentren en una determinada región, como supervisión de rutas, horarios y manejo general del vehículo. Además permite apoyar al conductor del vehículo en la búsqueda de rutas y agilizar el proceso de despacho de vehículos hacia lugares cercanos basándose en su posición actual. La figura 1.2 muestra el esquema general de un sistema AVL (26).

⁸ GSM: sistema estándar, definido para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital.

La puesta en marcha de un sistema AVL inicia por instalar un receptor GPS con su respectiva antena dentro de un vehículo. Este modulo GPS recibe y decodifica la señal de los satélites para determinar la posición geográfica, y tras un procesamiento definido en un microcontrolador los datos son enviados por un medio de comunicación preestablecido, ya sea de radiofrecuencia (tecnologías radio convencionales o sistemas troncales) o utilizando sistemas de telefonía móvil celular, con tecnología del Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM, *Global System for Mobile Communications*), a través de Servicio de Mensajes Cortos (SMS, *Short Message Service*) y Servicio General de Paquetes Vía Radio (GPRS, *General Packet Radio Service*). Dichos datos serán desplegados en un mapa digital de un Sistema de Información Geográfico (SIG). Así el operador que hace uso del sistema multiusuario del sistema AVL conoce la ubicación y mantiene control total del vehículo.

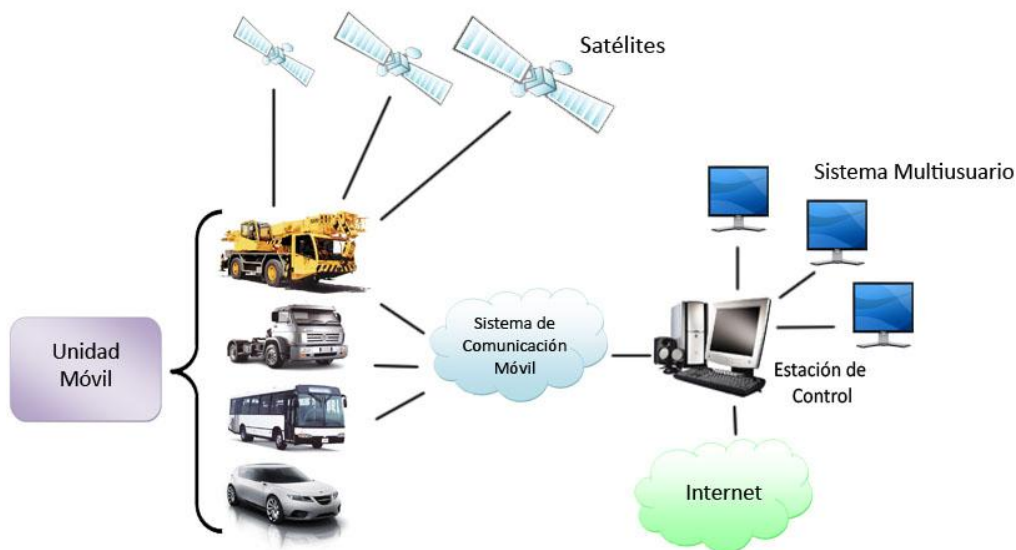


Figura 1.2. Esquema general de un sistema AVL.

Los beneficios de los sistemas AVL son:

- Ahorro de tiempo y dinero al lograr un mejor control sobre el recorrido vehicular.
- Información en tiempo real de cualquier inconveniente que pueda ocurrir en un vehículo.
- Información permanente sobre la velocidad y dirección de desplazamiento del vehículo.
- Mayor seguridad de la carga, el personal y la unidad vehicular.
- Información precisa de eventos durante las 24 horas los 365 días del año.

Debido a la versatilidad de los sistemas de comunicación que pueden soportar una red de AVL, el sistema puede adaptarse de acuerdo al sistema de comunicaciones existente, como es el caso de sistemas de radio troncalizado y sistemas de telefonía móvil celular.

La cobertura de este tipo sistemas será tan amplia como la red de comunicaciones que lo soporte.

1.2.1.1 Componentes de un Sistema AVL

Los elementos fundamentales de un sistema AVL son la Estación de Control, la Unidad Móvil y el Sistema de Comunicación Móvil Inalámbrico. En la figura 1.2 pueden identificarse estos elementos, donde la estación de control está conformada por el sistema multiusuario, y se comunica con la unidad móvil a través del sistema de comunicación móvil.

- **Estación de Control:** su función principal es organizar y procesar la información entregada por las unidades móviles. Normalmente está conformada por los siguientes equipos: un radio, cuyo tipo depende del sistema que se esté utilizando (convencional, troncalizado o celular), con sus respectivas antenas; una interfaz entre el equipo radio o de comunicación y el computador principal (servidor); y un computador, o una red local de computadores, dependiendo de la cantidad de terminales que se requieran en la estación de control.

Adicionalmente se puede tener una pantalla gigante en un auditorio o un salón múltiple, donde un grupo de personas pueden coordinar alguna actividad en caso de alguna eventualidad, como por ejemplo un comité de emergencia.

- **Unidad móvil:** la unidad móvil se encuentra instalada en el vehículo u objeto móvil. Es la encargada de determinar la posición del vehículo, recibiendo los datos de posición por medio del receptor GPS y transfiriendo esta información a través del sistema de comunicaciones a la estación de control. Este subsistema está conformado por un receptor GPS, un microcontrolador y un transceptor del sistema de comunicaciones. El receptor GPS es el módulo que se usa para la obtención de la posición mediante coordenadas geográficas. El microcontrolador se encarga del procesamiento de la información, haciendo uso de un software previamente programado en él, y cuenta con una memoria para el almacenamiento de la información de posicionamiento. El transceptor del sistema de comunicaciones es el encargado de realizar el envío de la información que procesó el microcontrolador hacia la estación de control a través del sistema de comunicación inalámbrica.
- **Sistema de Comunicación Móvil Inalámbrico:** por su parte un sistema de comunicación móvil inalámbrico es utilizado para transportar la información desde la unidad móvil hasta la estación de control. La selección de este componente depende de las necesidades y requerimientos del sistema, que definen el tipo de sistema de comunicación móvil a escoger, ya sea radio convencional, radio troncalizado o el sistema de telefonía móvil celular, dependiendo del costo del sistema, la cobertura requerida, la robustez del sistema, la fiabilidad, la

disponibilidad, etc.

1.2.2 Sistemas de Despacho Asistido por Computadora (CAD)

Como su nombre lo indica, los CAD son un método para despachar vehículos (taxis, ambulancias patrullas de policía, máquinas de bomberos, etc.) o personas (mensajeros, técnicos de servicio al cliente, etc.) a través de una aplicación software, como respuesta a una solicitud, a un incidente o a un evento determinado que requiera atención. Este tipo de software se puede utilizar para enviar mensajes a una central de despacho a través de un terminal móvil de datos (MDT, *Mobile Data Terminal*) y/o se utiliza para almacenar y recuperar datos (registros de radio, entrevistas de campo, la información del cliente, horarios, etc.) (27). Un despachador puede anunciar los detalles del evento y llamar a las unidades a través de un sistema de comunicaciones tan básico como lo son los radios convencionales de dos vías; además, los sistemas CAD generalmente permiten enviar mensajes de texto con los detalles del servicio a un radiolocalizador o a un teléfono móvil a través de un mensaje texto (SMS).

El propósito de un sistema CAD es permitir que las personas en un centro de despacho sean capaces de ver y entender con facilidad el estado de todas las unidades que han sido despachadas, para lo cual generalmente se recurre a la implementación de pantallas y herramientas que le permitan al despachador tener la oportunidad de atender las solicitudes por servicio tan eficientemente como sea posible (28).

Anteriormente los sistemas CAD consistían en un conjunto de computadores vinculados a los terminales de comunicación que desplegaban la información mediante mensajes de texto. Los sistemas actuales utilizan una configuración cliente-servidor, con datos que residen en un computador central, físicamente tan pequeño como un computador personal (PC, *Personal Computer*), capaz de soportar la gestión de la información relacionada con el sistema y la integración de las interfaces necesarias para facilitar la comunicación de voz y datos a través de diferentes tecnologías (27). En la sección A.1.2 del anexo A se mencionan los elementos comunes del software CAD.

2

DESCRIPCIÓN DE HORUS

En este capítulo se presentan los bloques que conforman el sistema prototipo de monitoreo y control vehicular asistido por GPS - HORUS, presentando sus componentes y funciones principales. Además se hace una descripción general de los equipos utilizados en el sistema prototipo y su funcionalidad dentro del mismo.

2.1 DEFINICIÓN

HORUS es un sistema prototipo que permite realizar el monitoreo y control de un vehículo mediante el uso de tecnología GPS como herramienta fundamental para la obtención de la posición geográfica, y de radios convencionales de dos vías que permiten adaptar, transmitir y recibir la información a través del medio de transmisión inalámbrico para establecer la comunicación entre el vehículo y una central de despacho. En el vehículo se encuentra un módulo que contiene los dispositivos necesarios para captar, adecuar y transmitir la información de posicionamiento, así como una unidad de despliegue de información que le permite al conductor del automóvil visualizar determinados parámetros relacionados con el recorrido, como son la posición y la velocidad.

A través de un par de radios convencionales de dos vías se transmite la información hasta la central de despacho, donde se encuentra otro módulo encargado de recibir y adaptar la información que fue enviada, para posteriormente desplegarla en un computador mediante una aplicación web o en un celular mediante una aplicación móvil diseñada para tal fin. A través de dichas aplicaciones es posible observar la posición del vehículo en un mapa digital de la zona donde se encuentre.

HORUS es un sistema que brinda funcionalidades semejantes a las de los actuales sistemas AVL, con la diferencia que utiliza tecnologías ya existentes en la mayoría de vehículos que poseen un sistema de comunicación de voz, como son los radios convencionales de dos vías, reduciendo de esta manera los costos de implementación en comparación con otras soluciones AVL. Esta característica hace de HORUS un sistema innovador que permite realizar un uso más eficiente de la tecnología ya implementada, adaptándola para ofrecer ciertos servicios adicionales de comunicación de datos, además de brindar a diferentes empresas una herramienta que contribuya al mejoramiento de su productividad mediante el monitoreo y control de sus flotas de transporte, y el despliegue de nuevos servicios que representen valor agregado.

HORUS está compuesto por una unidad móvil, el sistema de comunicación inalámbrico y

una estación de control. En la figura 2.1 se muestra la estructura general de HORUS.



Figura 2.1. Estructura general de HORUS.

Dentro de la unidad móvil se encuentran el receptor GPS y elementos de control, adaptación y despliegue; un par de radios convencionales de dos vías conforman el sistema de comunicación inalámbrico; y un conjunto elementos de control, servidores y base de datos conforman la estación de control.

Los servidores son los encargados de recibir los datos relacionados con la posición geográfica del vehículo, ubicarlos en el mapa digital de la zona a la que corresponden y desplegarlos en Internet junto con los demás componentes de la aplicación web, para que los usuarios tengan acceso a la información. La estación central es la que realiza la gestión de toda la información relacionada con HORUS (clientes, vehículos, operadores y conductores) y la que hace posible el despliegue de los servicios que ofrece el sistema.

La unidad móvil y uno de los radios convencionales de dos vías se encuentran dentro del vehículo a rastrear. El otro equipo radio y la estación de control se encuentran en la central de despacho. En la figura 2.2 se muestra un esquema de esta distribución.

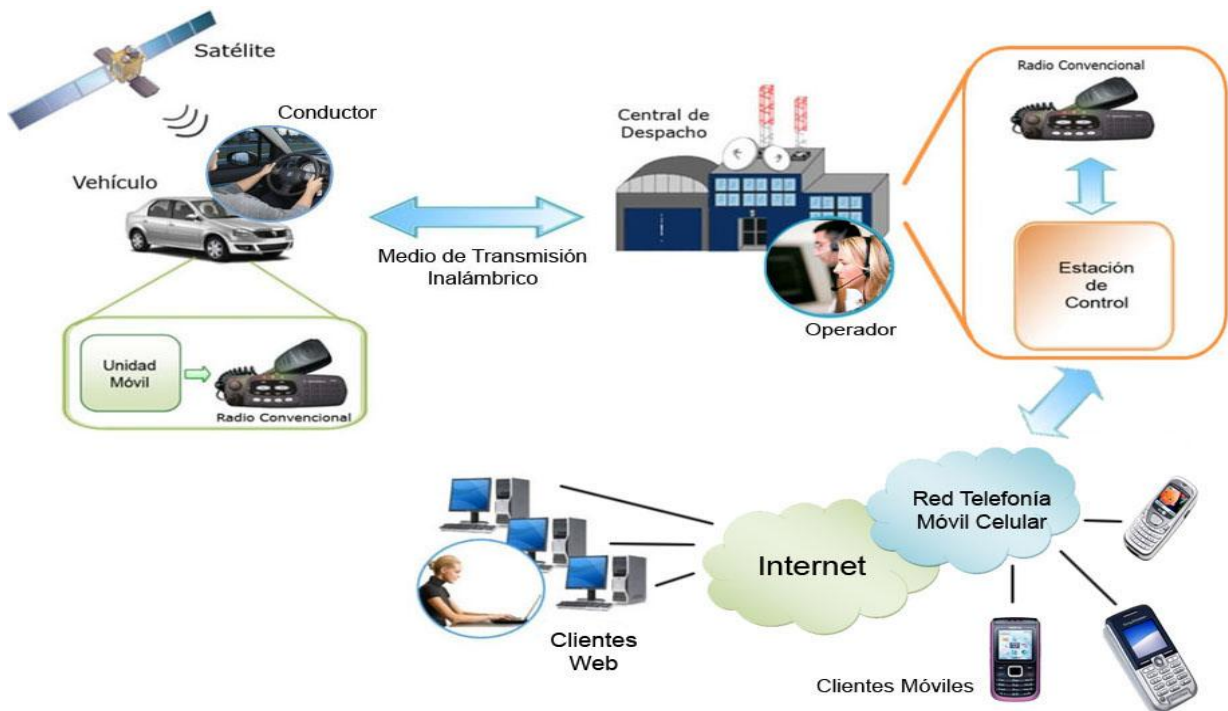


Figura 2.2. Distribución de los componentes de HORUS.

2.3 APLICACIONES DE HORUS

La implementación de este sistema prototipo permitirá que se lleven a cabo determinadas funciones básicas e indispensables para ofrecer los servicios que identifican a un sistema AVL. Entre dichas funciones se resalta la posibilidad de visualizar la posición de un vehículo en un mapa digital de la zona geográfica donde se encuentre y conocer la información de mayor relevancia asociada al vehículo (propietario, conductor, y características generales, entre otras) desde una aplicación web o desde una aplicación para clientes móviles; gestionar el despacho de vehículos, garantizar la comunicación entre los mismos, la transmisión de datos entre la central de despacho y las unidades móviles instaladas en cada vehículo, y quizá la más importante, la de ser un sistema flexible y abierto a la posibilidad de integrar nuevas aplicaciones. La figura 2.3 muestra el diagrama general de los casos de uso identificados para HORUS y la relación con los actores que los inician.

Cada caso de uso está asociado a una función específica de HORUS y aunque sólo se han mencionado aquellas que se consideran de mayor prioridad, existen otras funciones secundarias que optimizan el sistema y que también pueden ser representadas en una figura similar, así como las aplicaciones adicionales que deseen integrarse en versiones posteriores del prototipo. En la figura 2.3 se utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado (UML, *Unified Modeling Language*) para definir el diagrama general de casos de uso de HORUS.

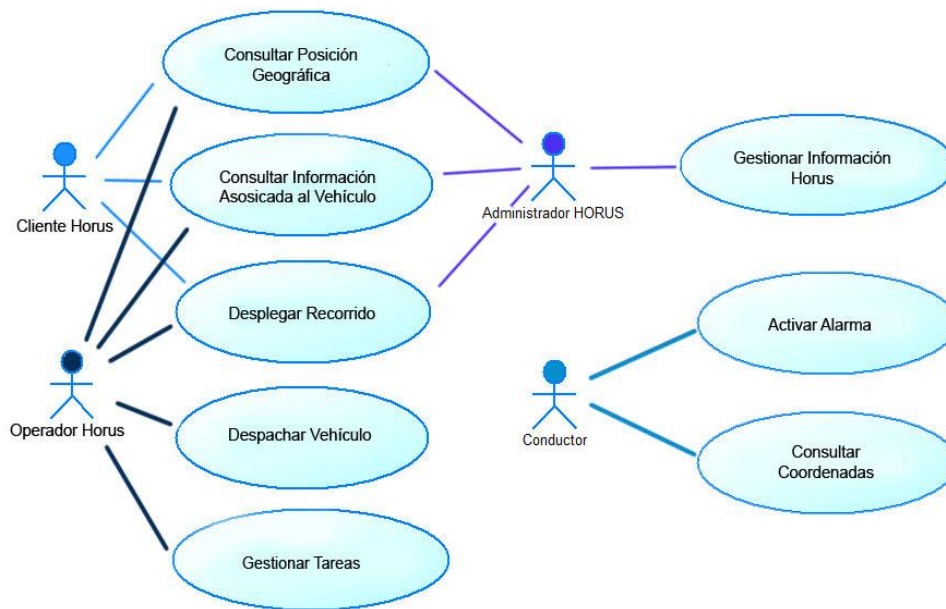


Figura 2.3. Diagrama general de casos de uso para HORUS⁹.

- **Control de velocidad:** el operador del sistema podría recibir notificaciones cada vez que un vehículo cometa una infracción de tránsito por exceder los límites de velocidad establecidos. Esta información puede ser asociada directamente a un conductor y llevar el control de infracciones en una base de datos.
- **Gestión de recursos:** un sistema de rastreo soportado por el GPS en cualquier vehículo, la operación de control puede realizarse de manera continua gracias a la ubicación de cada automóvil, las tareas y funciones pueden ser controladas de forma remota, verificando los tiempos de descanso o paradas durante el recorrido, los tiempos de trabajo, los tiempos dedicados por tarea, entre otros; permitiendo gestionar de manera más eficiente los recursos implicados en la operación (desgaste de neumáticos, cantidad de combustible requerido y mantenimiento mecánico del vehículo en general).
- **Cálculo de tarifas:** en el caso de los vehículos que prestan servicio de transporte de personas en entornos urbanos, el rastreo vehicular podría ser utilizado para realizar el cálculo de las tarifas, dependiendo de la distancia en el trayecto recorrido. Esta podría ser una característica usada en casos específicos del servicio de transporte.
- **Información de tráfico:** se pueden implementar características que proporcionen información en tiempo real sobre las condiciones del tráfico vehicular. Una vez detectada la ubicación del vehículo, se podría relacionar con los datos de la red de

⁹ En la sección A.2.1 del anexo A se realiza una descripción detallada de los casos de uso del sistema.

carreteras y alertar al conductor a través de una representación gráfica o mediante síntesis de voz sobre posibles congestiones vehiculares en su trayecto.

- **Información turística:** el sistema podría brindar información variada relacionada con puntos de interés, como hoteles, hospitales, bares, lugares típicos, entre otros, que sirvan de información para personas interesadas en recorridos especiales.
- **Control de rutas:** en el caso de empresas de transporte público, como buses y colectivos, pueden implementarse aplicaciones adicionales que permitan gestionar las diferentes rutas de los vehículos, distribuyéndolas entre el número de automotores existentes, permitiendo cambiarlas de forma automática y notificando al conductor respectivo de su nuevo recorrido. En el caso de taxis y transporte de mercancías, cuando existe una nueva solicitud, ésta es asignada al vehículo que se encuentra más cercano y con menor carga de trabajo en el momento.

2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

Los tres componentes principales de HORUS (Unidad Móvil, Sistema de Comunicación Inalámbrico y Estación de Control) están representados por los bloques: bloque unidad móvil, bloque radios móviles y bloque estación de control. En la figura 2.4 se muestra el diagrama de bloques del sistema prototipo que permite realizar el monitoreo y control vehicular.



Figura 2.4. Diagrama general de bloques del sistema.

A continuación se realiza una descripción de cada bloque y se explica su funcionamiento dentro del sistema prototipo de monitoreo y control vehicular asistido por GPS - HORUS.

2.4.1 Bloque Unidad Móvil

Este bloque se encuentra ubicado dentro del vehículo y está compuesto por el receptor GPS, la Unidad de Control y Acondicionamiento y la Unidad de Despliegue de Información. La figura 2.5 muestra el diagrama de bloques de la unidad móvil.

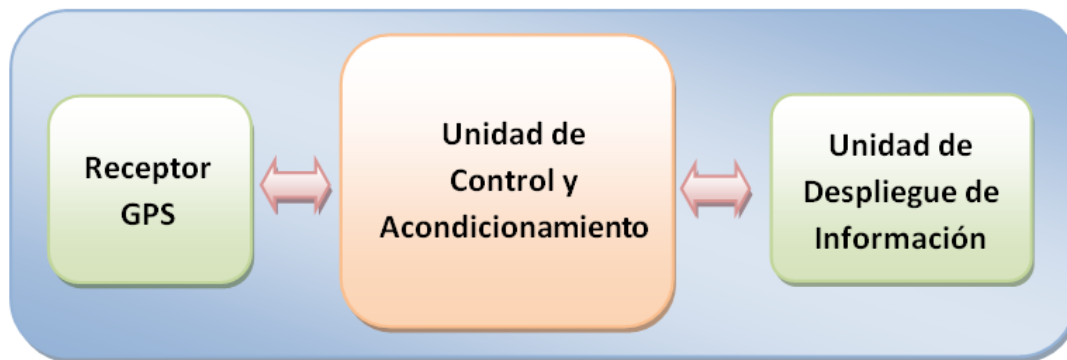


Figura 2.5. Diagrama de bloques unidad móvil.

- **Receptor GPS:** se encarga de obtener la información de posicionamiento del vehículo.
- **Unidad de Control y Acondicionamiento:** está conformada por un microcontrolador que se encarga de generar señales de control, organizar, adaptar y enviar la información de posicionamiento hacia el bloque radios móviles. También cuenta con un botón de pánico que permite al conductor reportar una emergencia a la central mediante una señal de alarma silenciosa.
- **Unidad de Despliegue de Información UM¹⁰:** cuenta con una pantalla LCD donde el conductor visualiza la información de posición y velocidad del vehículo, además de un teclado para ingresar órdenes a la unidad de control y acondicionamiento.

2.4.2. Bloque Radios Móviles

Este bloque hace referencia a la sección de comunicación inalámbrica, conformado por radios convencionales de dos vías que establecen la comunicación. En el vehículo se encuentra el radio móvil VH¹¹, el cual se comunica con el radio móvil CD¹².

El radio móvil VH se encarga de recibir la información proveniente de la unidad móvil y adaptarla para transmitirla vía radio a través del sistema de comunicaciones inalámbrico hacia el bloque radio móvil CD. El radio móvil CD recibe la señal proveniente del bloque radio móvil VH y entrega la información al bloque estación de control para su procesamiento. Los radios cuentan con un puerto de pines propietario, a través del cual se ingresan los datos de manera serial. La figura 2.6 muestra el diagrama de bloques radios móviles.

¹⁰ UM: Hace referencia a un elemento de la unidad móvil.

¹¹ VH: hace referencia al radio convencional de dos vías ubicado en el vehículo.

¹² CD: hace referencia al radio convencional de dos vías ubicado en la central de despacho.



Figura 2.6. Diagrama de bloques radios móviles.

2.4.3 Bloque Estación de Control

En este bloque se encuentra el conjunto de servidores donde está implementada la aplicación web que permite a clientes, operadores y administradores del sistema, realizar las tareas de monitoreo y control del vehículo. la figura 2.7 muestra el bloque estación de control.

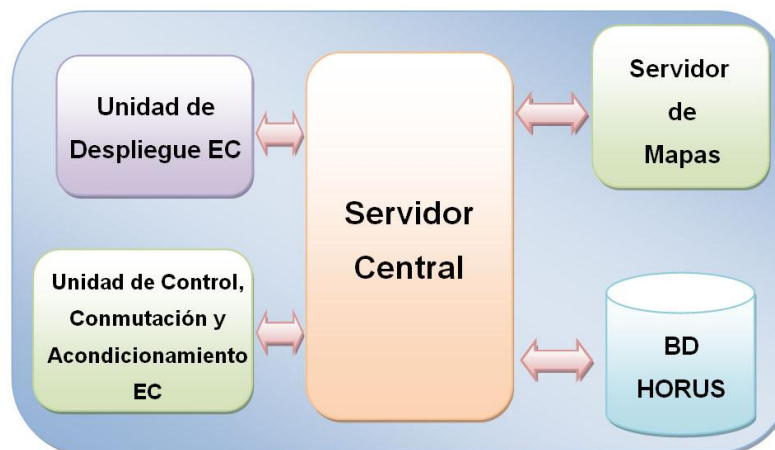


Figura 2.7. Diagrama del bloque estación de control.

- **Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC (UCCA-EC)¹³:** unidad encargada de recibir los datos provenientes de la unidad móvil, procesarlos y conformar una trama que es adaptada para ser interpretada por el servidor central.
- **Servidor Central:** en este servidor se encuentra almacenada la lógica necesaria para desplegar la aplicación web que permite la interacción de HORUS con la base de datos, el servidor de mapas y los usuarios del sistema.
- **Servidor de Mapas:** este servidor es el encargado de elaborar los modelos de elevación digital de terreno (DTM) y acondicionarlos según los datos de

¹³ EC: Hace referencia a un elemento de la estación de control.

posicionamiento geográfico provenientes de la unidad móvil para desplegarlos en la aplicación web desde servidor central.

- **Unidad de Despliegue de Información EC:** este elemento del bloque Estación de Control permite inicializar y visualizar los servicios de rastreo y control vehicular que ofrece HORUS a través de la aplicación web o a través de la aplicación móvil. Un computador con acceso a Internet o un dispositivo móvil con capacidad de navegación y transmisión de datos, son la mejor representación de este elemento. Aunque los clientes del sistema pueden consumir algunos servicios a través de estos dispositivos, es necesario aclarar que esta unidad es tenida en cuenta como un elemento del bloque Estación Control debido al uso que le da el operador de la central, quien hace parte del sistema e influye en la lógica de funcionamiento; además de contar con más privilegios que un cliente HORUS.
- **Base de Datos HORUS:** en esta base de datos se encuentra almacenada toda la información relacionada con los usuarios del sistema y los archivos geográficos necesarios para la elaboración de los mapas digitales.

En términos generales el procedimiento que el sistema realiza es el siguiente:

Una vez el operador se ha registrado y validado en HORUS a través de la aplicación web, puede realizar peticiones al sistema para localizar un vehículo determinado. La solicitud es procesada por el Servidor Central y enviada a la Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC, la cual actúa como una interfaz serial para transmitir la solicitud por medio del Radio Móvil CD a todas las Unidades Móviles, las cuales reciben la información transmitida a través del Radio Móvil VH y evalúan la trama de datos recibida para determinar si deben o no responder a dicha solicitud. Una vez confirmado el destinatario la Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento UM solicita al receptor GPS la trama NMEA¹⁴ con la información de posicionamiento para procesarla y extraer los datos útiles (longitud, latitud y velocidad), generar una nueva trama a partir de esos datos y enviarla al Radio Móvil VH, el cual la recibe a través del puerto serial y la retransmite para que sea captada por el Radio Móvil CD y pueda ser procesada por el servidor central de la Estación de Control, para obtener las coordenadas de posicionamiento del vehículo y presentarlas en un mapa digital generado por el Servidor de Mapas a través de la Unidad de Despliegue de Información EC.

2.5 FUNCIONES GENERALES DE LOS BLOQUES DEL SISTEMA

A continuación se presentan las funciones que realizan los bloques del sistema, algunas de las cuales han sido programadas previamente y se realizan de manera automática, y

¹⁴ NMEA (*National Marine Electronics Association*): El protocolo NMEA 0183 permite a instrumentos marítimos y receptores GPS comunicarse los unos con los otros.

otras se activan de forma manual por parte de los usuarios del sistema.

2.5.1 Bloque Unidad Móvil

- **Adquisición de posición:** el receptor GPS obtiene los datos de posicionamiento y genera la trama NMEA, para enviarla posteriormente a la unidad de control y acondicionamiento.
- **Despliegue de información:** a través de la pantalla LCD se muestran la posición y velocidad del vehículo, de tal forma que el conductor del mismo tenga acceso a esta información en todo momento.
- **Notificación de Emergencia:** el conductor tiene a su disposición un pulsador que le permite activar en cualquier momento una alarma silenciosa que notifica a la central de despacho de cualquier anomalía que pueda presentarse¹⁵.
- **Identificación Vehicular:** cada unidad móvil cuenta con un código de identificación único que le permite al sistema reconocer el origen de la información de localización o posicionamiento; además este código está relacionado en la base de datos del sistema con toda la información asociada al vehículo (conductor, carga transportada, rutas, descripción del vehículo, etc.). Una vez definido el código de identificación éste se ingresa en cada unidad móvil a través del teclado numérico.
- **Envío de posición:** la unidad de acondicionamiento y control procesa la trama NMEA que contiene la información de posicionamiento que proviene del receptor GPS y la organiza en otra trama donde solo se incluyen los datos útiles para el sistema (longitud, latitud y velocidad). Posteriormente la envía hacia el bloque radio móvil VH.

En la figura 2.8 se utiliza UML para elaborar un modelo dinámico que permita representar los procesos llevados a cabo en el caso de uso “Transmitir Posición”, donde se muestran las funciones principales descritas anteriormente.

¹⁵ El móvil envía una señal de pánico, pero no se especifica en qué tipo de situación de emergencia se encuentra.

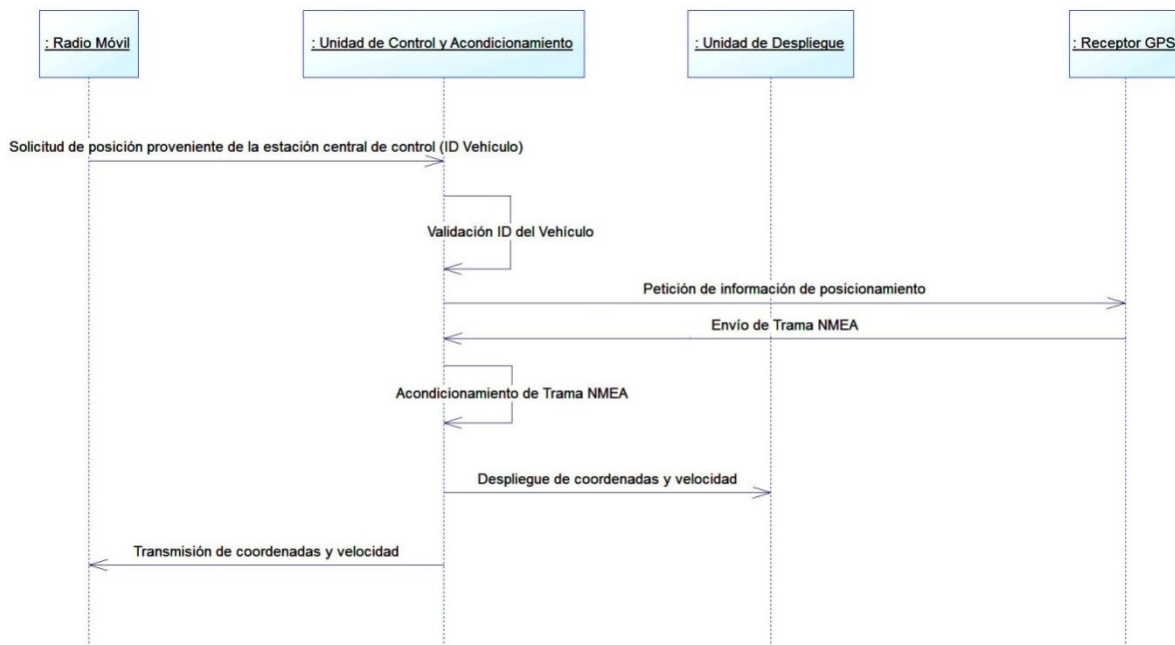


Figura 2.8. Diagrama de secuencia Transmitir Posición.

2.5.2 Bloque Radios Móviles

Transporte y recepción de información: en el caso del bloque radio móvil vehicular (VH) la información adquirida puede provenir del bloque unidad móvil cuando ésta es enviada al bloque radio móvil de la central de despacho (CD) como respuesta a una petición del bloque estación de control, o puede provenir del bloque radio móvil de la central de despacho (CD) cuando el bloque estación de control realiza peticiones al bloque unidad móvil. La figura 2.9 muestra un modelo dinámico del intercambio de mensajes entre los componentes de este bloque.

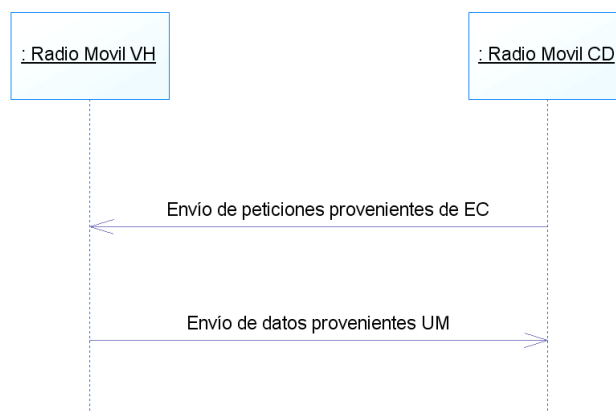


Figura 2.9. Funciones de los componentes del Bloque Radios Móviles.

2.5.3 Bloque Estación de Control

- **Adquisición de Datos:** la información proveniente de la unidad móvil debe ser procesada y enviada a la estación de control mediante una interfaz que permita realizar la comunicación de datos a través del puerto serial del servidor central.
- **Gestión de Información:** la información asociada a cualquiera de los usuarios que se encuentra almacenada en la base de datos puede ser ingresada, consultada y modificada a través de la aplicación web. Los permisos de acceso a la información son asignados en su mayoría por el administrador del sistema, seguido por los operadores y en último lugar por los usuarios, con el fin de mantener una centralización y un orden en su gestión.
- **Validación de Usuarios:** el sistema brinda acceso a sus aplicaciones únicamente cuando valide que el usuario (administrador, operador o cliente) está registrado, por tal motivo es necesario comparar los datos de identificación (nombre y contraseña) ingresados mediante la aplicación web con la información almacenada en la base de datos.
- **Localización de Vehículos:** ingresando el identificador de los vehículos en la aplicación web, el sistema muestra al usuario la posición del vehículo requerido en un mapa digital de la zona donde se encuentre.
- **Despacho de Vehículos:** el sistema permite identificar mediante un mapa al vehículo que se encuentre más cerca de una dirección específica.
- **Despliegue de Recorrido:** desde el momento en que se activa la función, el usuario del sistema podrá visualizar en un mapa el recorrido que ha realizado el vehículo durante la última hora.
- **Gestión de Tareas:** el sistema permite que los operadores puedan registrar, consultar y modificar en la base de datos, la información relacionada con las tareas asignadas a los vehículos.

En la figura 2.10 se presenta el diagrama de secuencia “Rastreo de Vehículos”, donde se muestran las funciones de interacción entre los componentes ubicados en la central de despacho.

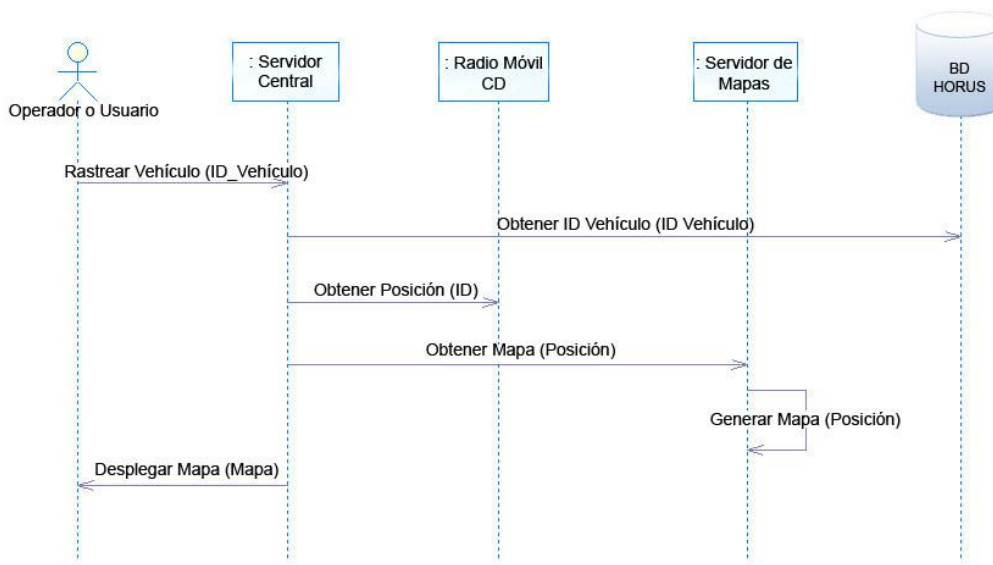


Figura 2.10. Diagrama de secuencia Rastreo de Vehículos.

2.6 VENTAJAS DE HORUS FRENTE A SISTEMAS TRADICIONALES DE DESPACHO

Dado que las aplicaciones de HORUS pueden representar diferentes ventajas según el entorno en el que se implementen, en la figura 2.11 se muestra a manera de ejemplo el proceso que la implementación del sistema prototipo adiciona al flujo normal de eventos en una actividad común dentro de los sistemas de transporte, como lo es el despacho vehicular en estaciones donde los radios convencionales son usados únicamente para la transmisión de voz. Generalmente, es en la central donde se atiende la solicitud de despacho por parte de un operador, quien obtiene la dirección destino y la envía a todos los móviles pertenecientes a la empresa de transporte mediante radios convencionales de dos vías a través de difusión (*broadcast*), y dependiendo de la ubicación de los vehículos los conductores se reportan para atender la solicitud. Generalmente el operador asigna la solicitud al primer vehículo que se reporte.

HORUS introduce procesos adicionales al flujo normal de eventos del despacho vehicular; una vez la solicitud es recibida por el operador y reportada a todos los vehículos del sistema de transporte a través del canal de voz de los radios convencionales, tendrá la posibilidad de validar la posición geográfica de los vehículos en una interfaz gráfica que le brinda la aplicación web y tomar la decisión de asignar la solicitud al vehículo más cercano de la dirección de destino basándose en la posición real del mismo.

En este proceso se ingresan los datos de los vehículos registrados en la aplicación web, donde se origina una solicitud de validación de la posición geográfica que es atendida por el servidor central para procesarla y enviarla a través del canal de datos de los radios convencionales; una vez la solicitud es atendida por el vehículo, éste obtiene su posición geográfica del GPS y la transmite mediante el radio convencional al servidor central, el

cual redirige los datos al servidor de mapas encargado de generar el modelo digital de la zona geográfica a la que corresponden los datos, para desplegar el mapa en la aplicación web y brindar al operador la herramienta visual para que él pueda tomar la decisión de asignar la solicitud recibida al vehículo más cercano, basándose en la posición real del mismo.

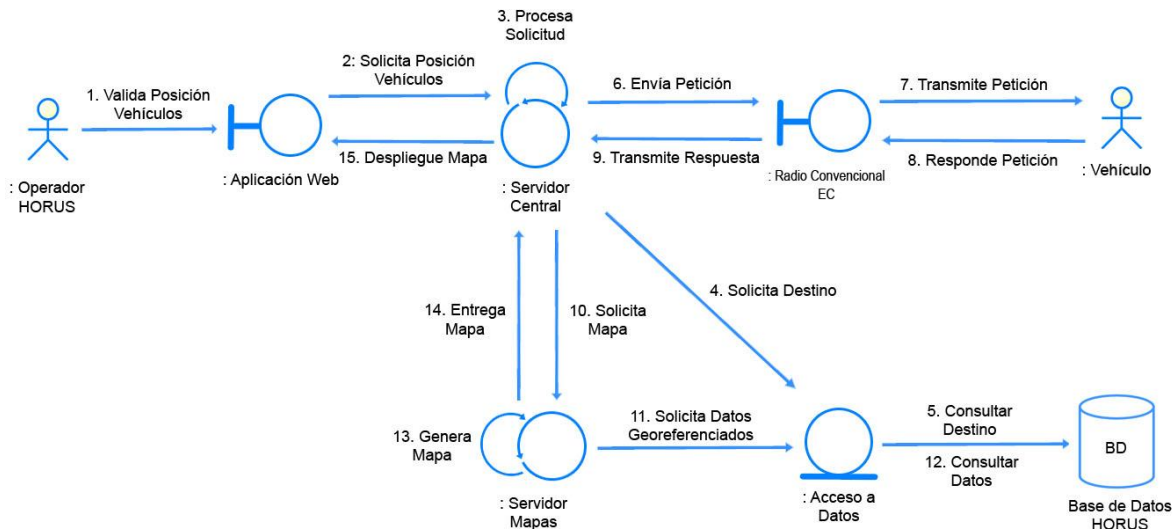


Figura 2.11. Modelo de objetos del negocio para el caso de uso “Despachar Vehículo” implementado en HORUS.

HORUS brinda a las empresas la oportunidad de hacer un uso más eficiente de sus sistemas de comunicación radio de dos vías, con nuevas aplicaciones o servicios diferentes al servicio básico de voz, brindando un mayor control sobre sus fuerzas de ventas e incrementando su eficiencia y competitividad, a un menor costo respecto a otras empresas que hacen uso de sistemas de monitoreo y control vehicular soportados en tecnologías celulares.

HORUS es una solución de calidad y bajo costo que puede ser implementada en diferentes empresas que posean sistemas de comunicación radio de dos vías sin que esto requiera la adquisición de equipos de nueva tecnología.

La configuración y uso de dispositivos de posicionamiento, adaptados funcionalmente a radios de comunicación de dos vías pertenecientes a una red de despacho convencional, permite obtener un sistema de comunicación de datos vía radio, en el cual la información transmitida se encuentra relacionada con la identificación y posición del vehículo. Asimismo, el desarrollo del sistema contribuye a la creación de una base conceptual referente a la integración entre las tecnologías GPS y los radios convencionales de dos vías, convirtiéndose en información importante para posteriores mejoras e implementaciones del sistema.

3

IMPLEMENTACIÓN DE HORUS

En este capítulo se realiza una descripción de las etapas, elementos e interfaces que componen a los tres bloques principales de HORUS: Unidad Móvil, Sistema de Comunicación Inalámbrico y Estación de Control. De igual manera se describe el protocolo de comunicaciones definido para el sistema.

3.1 UNIDAD MOVIL

A continuación se hace una descripción de los elementos que componen al bloque Unidad Móvil.

3.1.1 Receptor GPS

Para realizar el proceso de adquisición de coordenadas se utilizó el módulo GPS EM-406A de la compañía USGlobalSat¹⁶, el cual se presenta en la figura 3.1.



Figura 3.1. Módulo GPS EM-406A utilizado en HORUS.

Características del módulo GPS:

- Receptor de 20 canales.
- Sensibilidad: -159 dBm.
- Precisión de posición de 10 metros.
- Tiempo de inicio en caliente de 1 segundo y 42 segundos en frío.
- Consumo de corriente: 70mA a 4.5 - 6.5 Voltios.

¹⁶ <http://www.usglobalsat.com/>

- Formato datos de salida: protocolo NMEA 0183 y protocolo binario SiRF¹⁷.
- Tamaño: 30mm x 30mm x 10.5 mm.
- Peso: 16 gramos.

En la sección A.3.1.1 del anexo A se describen los pines del módulo GPS con sus respectivas funciones. En la sección A.3.1.2 del anexo A se describe el protocolo usado por el GPS. En la sección A.3.1.3 del anexo A se explica el proceso de configuración del mismo.

3.1.2 Unidad de Control y Almacenamiento

La unidad de control y almacenamiento es un conjunto de dispositivos interconectados que permiten realizar las funciones de control, almacenamiento y transporte de la información, y que permite comunicar al radio convencional de dos vías con la unidad móvil, en el caso del vehículo, y con la estación de control, en el caso de la central de despacho.

3.1.2.1 PIC 18F452

El microcontrolador 18F452¹⁸ pertenece a la gama alta de los controladores de interfaz periféricos (PIC, *Peripheral Interface Controller*), el cual presenta características eficientes que permiten implementar diversas aplicaciones de nivel medio-alto.

Las características principales de este PIC son las siguientes:

- Tecnología CMOS.
- Procesador RISC.
- Memoria Flash: 32 kbytes.
- Memoria de instrucciones: 16384 bytes.
- Memoria RAM: 1536 bytes.
- Memoria EEPROM: 256 bytes.
- Bus datos: 8 bits.
- Bus de instrucciones: 16 bits.
- Módulo de puerto serie síncrono.
- Transmisor y Receptor Síncrono/Asíncrono Universal (USART, *Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter*) direccionable: soporte a RS-485 y RS-232.
- Módulo de puerto paralelo.
- Módulo conversor A/D: 10 bits.

En la figura 3.2 se muestra la distribución de pines del PIC.

¹⁷ Protocolo SiRF: protocolo estándar de interfaz utilizado por la familia de productos SiRFStar. Manual de referencia: http://www.usglobalsat.com/downloads/SiRF_Binary_Protocol.pdf

¹⁸ PIC 18F452 de la empresa Microchip (<http://www.microchip.com>).

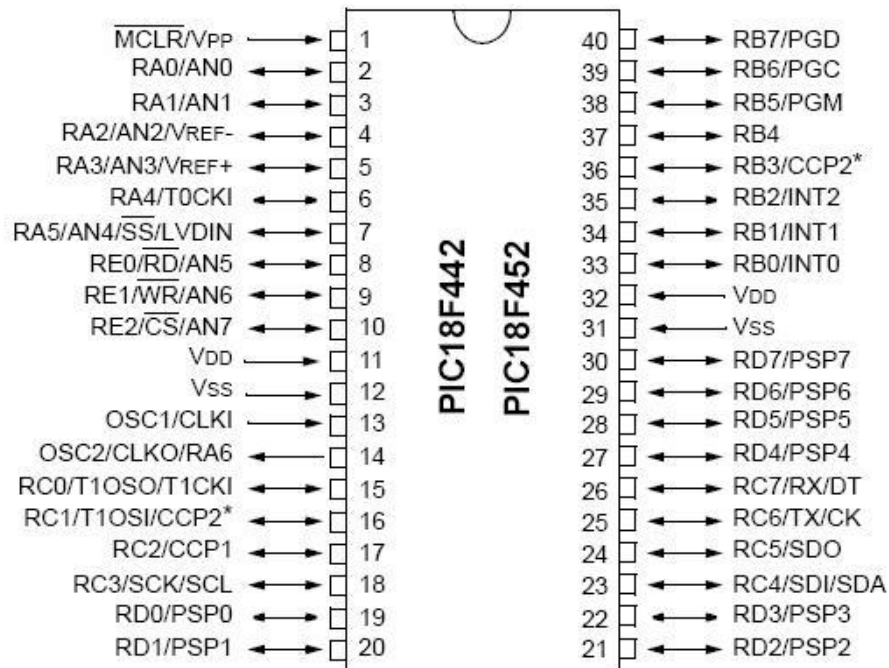


Figura 3.2. Distribución de pines del PIC 18F452.

3.1.2.2 Teclado

Se hizo uso de un teclado matricial alfanumérico, el cual está conformado por un conjunto de contactos que se unen al presionar la tecla deseada y permiten el paso de señal. La figura 3.3 muestra el teclado.



Figura 3.3. Teclado Alfanumérico.

El teclado consta de 8 pines, donde los primeros cuatro representan las columnas, y los siguientes 4 las filas. En éstas últimas fue necesario agregar resistencias de *pull-up* de valor 1K Ω , con el objetivo de evitar rebotes de la señal y la detección de falsas pulsaciones. En la figura 3.4 se presenta el diagrama circuital del teclado.

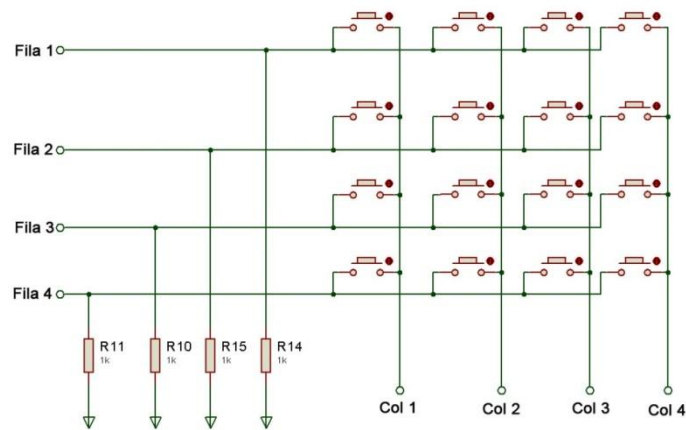


Figura 3.4. Diagrama circuital de la matriz que conforma al teclado y resistencias *Pull-Up* de las filas.

3.1.2.3 Botón pánico

Se utilizó un pulsador convencional como botón de pánico, el cual habilita el envío de una señal de emergencia desde el vehículo hacia la central de despacho. En la figura 3.5 se muestra el pulsador.



Figura 3.5. Pulsador convencional utilizado como botón de pánico.

3.1.2.4 Señal sonora

La señal sonora se usa para notificar al conductor que ha llegado un mensaje de texto enviado desde la central, emitiéndose un pitido intermitente durante 5 segundos. Para generar la señal sonora se utilizó un zumbador (*buzzer*) mecánico. En la figura 3.6 se presentan el dispositivo y el circuito implementado.

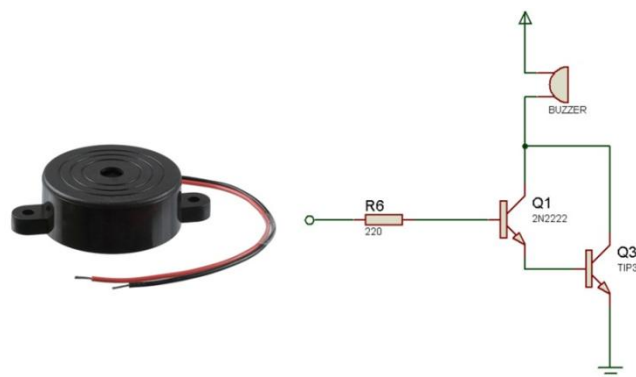


Figura 3.6. *Buzzer* y circuito implementado para la señal sonora.

3.1.2.5 Menú

A continuación se describen las opciones del menú desplegado al usuario a través del LCD en la unidad móvil.

- Inicio de sesión.
 - Usuario.
 - Contraseña.
- Cierre de sesión.
 - Confirmar.

Después de que el conductor ha iniciado sesión, en el LCD se muestran las coordenadas de la posición actual del vehículo y un mensaje indicando que la sesión ha sido iniciada. El menú brinda la posibilidad de cerrar la sesión cuando el conductor lo considere necesario.

3.1.3 Unidad de Despliegue de Información

Para la visualización del menú de usuario y de los mensajes de texto, se utilizó un Despliegue de Cristal Liquido (LCD, *Liquid Cristal Display*) modelo JHD 162A, de 16 pines. En la figura 3.7 se muestra el dispositivo.

A continuación se listan algunas características del LCD:

- Voltaje de polarización: 5V.
- Tamaño: 118 x 36mm.
- Número de columnas: 16.
- Número de filas: 2.
- Luz de fondo: diodo emisor de luz.



Figura 3.7. LCD JHD 162A.

La tabla 3.1 muestra la distribución y función de los 16 pines del LCD.

Pin	Nombre	Entrada/Salida	Función
1	Vss	-	Tierra (GND)
2	Vcc	-	Alimentación +5V DC
3	Vee	-	Ajuste de Contraste
4	RS	Entrada	0: Selección del registro de control. 1: Selección del registro de datos.
5	R/W	Entrada	0: Módulo LCD es escrito. 1: Módulo LCD es leído.
6	E	Entrada	E=0 Módulo desconectado. E=1 Módulo conectado.
7 - 14	DB0-DB7	Entrada - Salida	Bus de datos bidireccional. A través de estas líneas se realiza la transferencia de información entre el LCD y el microcontrolador.
15	A	-	LED ¹⁹ (+) Luz de fondo
16	K	-	LED (-) Luz de fondo

Tabla 3.1. Funcionalidad de los pines del módulo LCD.

Para la implementación de la unidad de despliegue de información de HORUS, se utilizaron únicamente 4 de los 8 pines disponibles del bus de datos del LCD. Del pin 11 al 14. En el pin 3 se conectó un reóstato (*presets*) que permitió variar la resistencia hasta encontrar un contraste de visualización adecuado. El pin 15 se conectó a tierra y el pin 16 al colector de un transistor 2N2222, con el objetivo de controlar el encendido y apagado de la pantalla, habilitándola sólo cuando sea necesario, siendo más eficiente el consumo de energía por parte del LCD. En la figura 3.8 se muestra esta configuración.

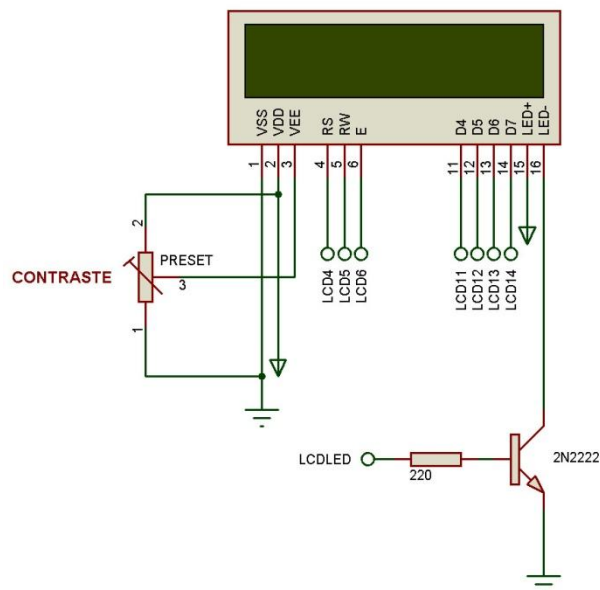


Figura 3.8. Distribución de pines del módulo LCD.

¹⁹ Diodo Emisor de Luz (LED, Light-Emitting Diode).

3.1.4 Implementación Hardware Unidad Móvil

Para realizar la interconexión de los componentes del sistema a nivel hardware y probar su funcionamiento, se implementaron diferentes etapas que permitieron realizar la adecuación de las señales de tal forma que se lograra una comunicación exitosa.

La unidad móvil está dividida en dos tarjetas:

- Tarjeta de control y despliegue móvil.
- Tarjeta de adaptación radio.

3.1.4.1 Tarjeta de Control y Despliegue Móvil

En esta tarjeta se encuentran los elementos que permiten ver e introducir los datos en la interfaz de usuario de la unidad móvil. En la figura 3.9 se presenta un esquema de las etapas que componen a esta tarjeta.

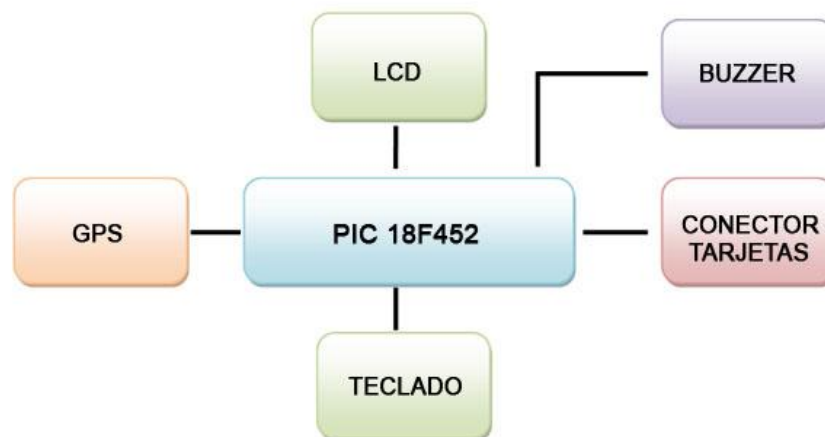


Figura 3.9. Etapas hardware que conforman la tarjeta de control y despliegue móvil.

En esta tarjeta se encuentran el LCD, teclado, *buzzer*, un conector de 4 pines que permite utilizar el módulo GPS (Vcc, GND, Tx, Rx) y un conector que permite interconectar esta tarjeta con la tarjeta de adaptación radio. Adicionalmente cuenta con 3 LEDs indicadores (rojo, amarillo y verde) y un botón de pánico.

Los datos provenientes del GPS, que se dirigen hacia el pin 26 del microcontrolador atraviesan un par de negadores que en este caso se usan para estabilizar el nivel de la señal sin cambiar su información útil.

La figura 3.10 muestra el diagrama circuital de la tarjeta de control y despliegue móvil. En la sección A.3.3.1 del anexo A se presenta el circuito impreso correspondiente a esta tarjeta.

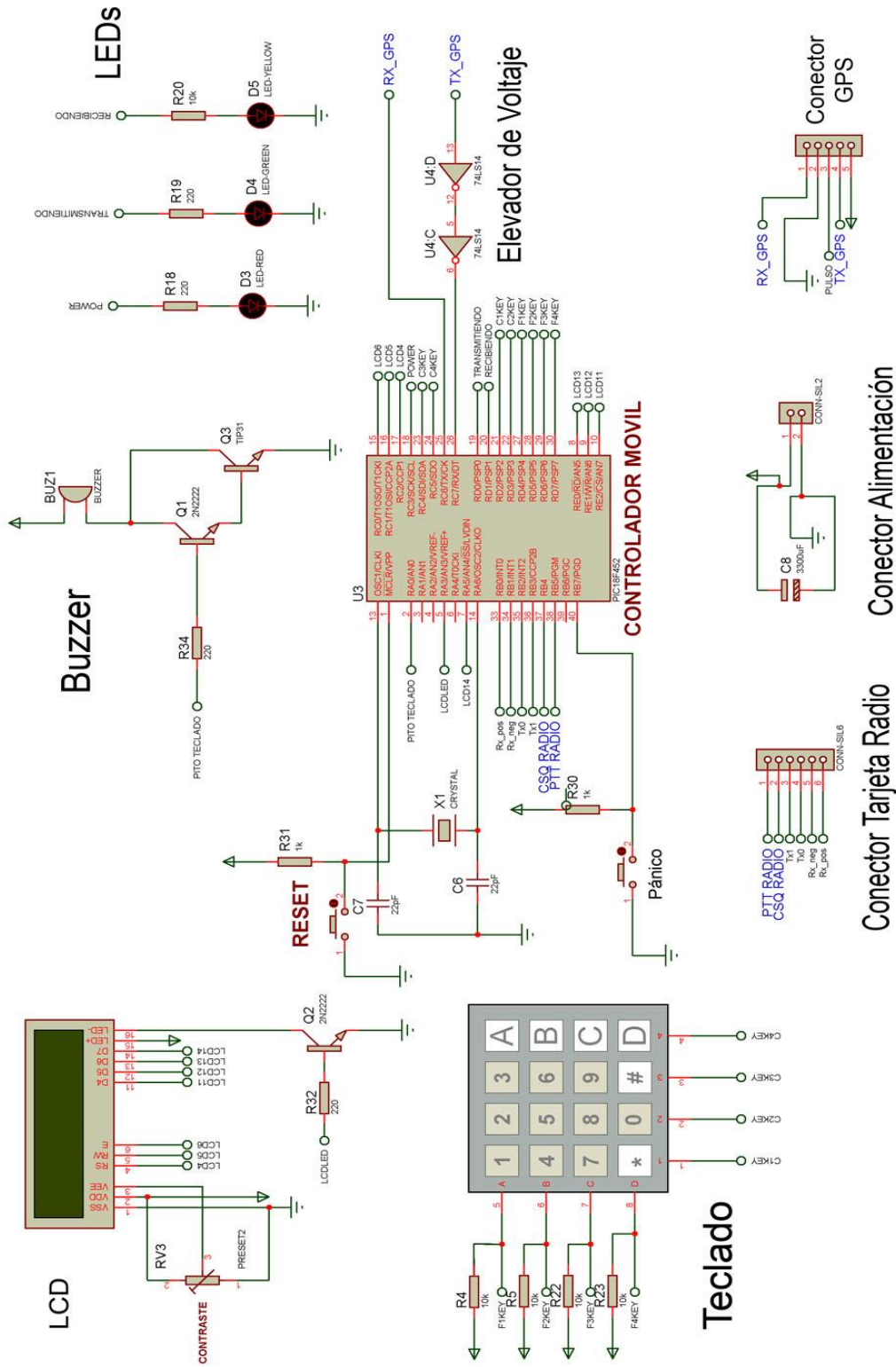


Figura 3.10. Diagrama circuital de la tarjeta de control y despliegue móvil.

3.1.4.2 Tarjeta de Adaptación Radio

Es la segunda tarjeta que conforma a la unidad móvil, en la cual se realiza una codificación/decodificación de alta densidad de 3 Ceros (HDB3, *High Density Bipolar*²⁰) y el acondicionamiento de la señal para ser enviada a través del radio Motorola pro3100. Se utilizó la codificación HDB3 debido a que no presenta componente continua ni de bajas frecuencias, y permite hacer un uso más eficiente del ancho de banda. La tarjeta se compone de la etapa de transmisión HDB3 y la etapa de recepción HDB3. En la figura 3.11 se muestran las etapas y los módulos que las componen.

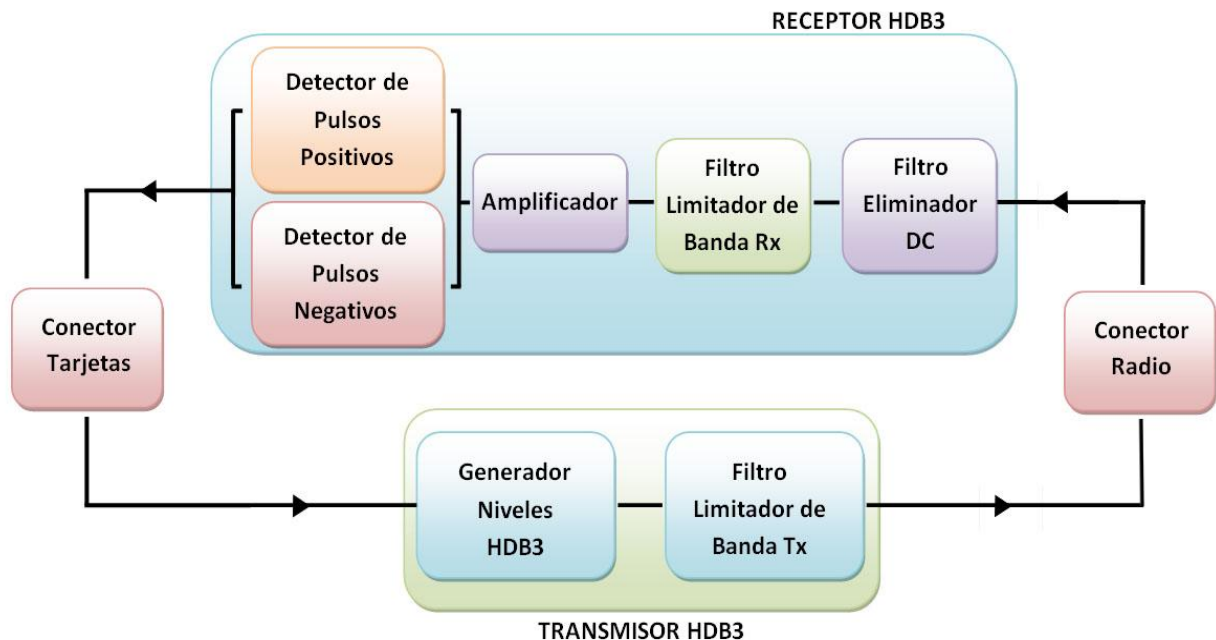


Figura 3.11. Etapas hardware que conforman la tarjeta de adaptación radio.

A continuación se realiza una descripción de los módulos que componen cada etapa y se presentan sus respectivos diagramas circuitales. En la sección A.3.3.1.3 del anexo A se presenta la simulación de las etapas hardware de la tarjeta de adaptación radio.

- **Etapa de Transmisión HDB3**

Generador de niveles HDB3. Para generar la codificación HDB3 se utilizó un amplificador operacional en configuración de sumador inversor debido a su facilidad de diseño e implementación. Se utiliza como una forma básica de conversión digital-analógica. El módulo se encarga de hacer una suma ponderada de las entradas, de tal forma que los coeficientes de ponderación se puedan ajustar de manera independiente

²⁰ Codificación de línea de tres estados de voltaje, donde la polaridad de un 1 transmitido es inversa a la del anterior y no se pueden enviar más de tres ceros consecutivos, para lo que se usa un sistema de violaciones. Utiliza un ancho de banda aproximado del 80% de la información. En la sección A.3.2.3.1.1 del anexo A se amplía el concepto de codificación HDB3.

para cada uno de los bits de entrada²¹. En la figura 3.12 se presenta el diagrama circuital de este módulo.

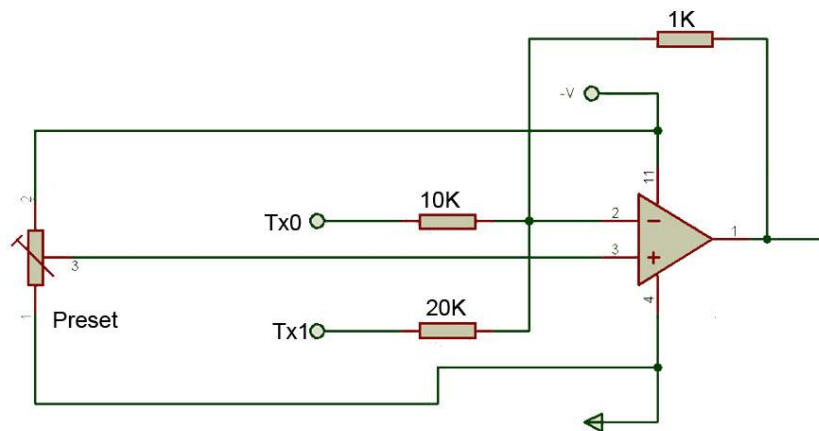


Figura 3.12. Amplificador en configuración sumador inversor utilizado para generar la codificación HDB3.

Los pines “Tx0” y “Tx1” son las entradas del sumador, provenientes de los pines 35 y 36 del PIC, respectivamente. En la tabla 3.2 se presentan los valores de voltaje generados por el módulo, dependiendo de los bits de entrada que tiene el sumador inversor²².

Bits de Entrada (Tx0 – Tx1)	Voltaje de Salida
0 - 0	+ 250 mV
0 - 1	0 V
1 - 0	- 250 mV

Tabla 3.2. Voltajes de salida en función a los bits de entrada del amplificador operacional.

Filtro Limitador de Banda Tx. Como el ancho de banda del radio es restringido, el espectro de la información que se envía es limitado por este filtro a un ancho de banda de 3000 Hz, ya que el sistema puede llegar a trabajar hasta una velocidad de 2750 bps y un valor nominal máximo de 3 Kbps. Para diseñar este filtro se utilizó *FilterLab*²³ de la empresa *Microchip*. En este software se definió un filtro pasabajos Butterworth de segundo orden, el cual presenta una buena respuesta y su implementación no es tan compleja, se especifica también la frecuencia de corte deseada y la herramienta entrega la respuesta en frecuencia del filtro, así como su diagrama circuital con los valores de los elementos. Éstos se pueden modificar manualmente, para hallar valores comerciales. En la figura 3.13 se muestra el diagrama circuital del filtro.

²¹ En la sección A.3.3.1.3.1 del anexo A se realiza una descripción más detallada de la codificación HDB3

²² La combinación 1 – 1 generaría un voltaje de salida de -500 mV, el cual no se usa para el caso de HORUS y no se ha programado en el PIC, por lo que no se tiene en cuenta.

²³ Enlace web del software FilterLab de la empresa Microchip:
http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en010007

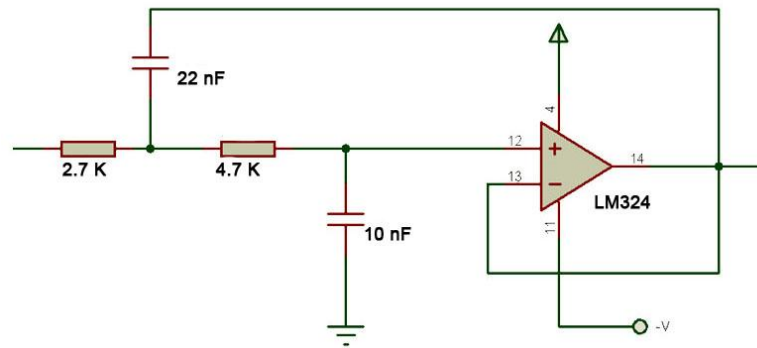


Figura 3.13. Filtro limitador de banda en transmisión.

En la figura 3.14 se muestra la respuesta en frecuencia del filtro, obtenida a través del software *FilterLab*, donde se indica la frecuencia de corte, la cual está ubicada en el punto en que la magnitud es igual a 3dB.

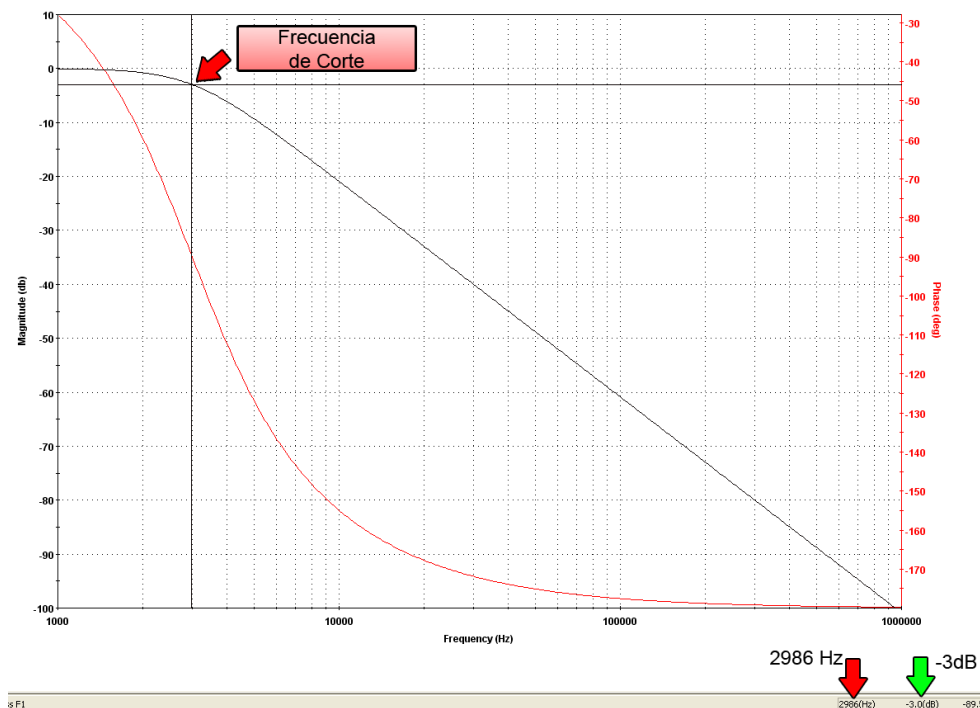


Figura 3.14. Respuesta en frecuencia del filtro diseñado.

- **Etapas de Recepción HDB3**

Filtro eliminador DC. Este filtro pasa-alto es utilizado para eliminar cualquier nivel DC que introduzca el radio después de realizar la demodulación de la señal. Su frecuencia de corte es 79.6 Hz, muy cercana a cero, debido a que sólo se desea filtrar la componente DC. En la figura 3.15 se muestra el circuito del filtro.

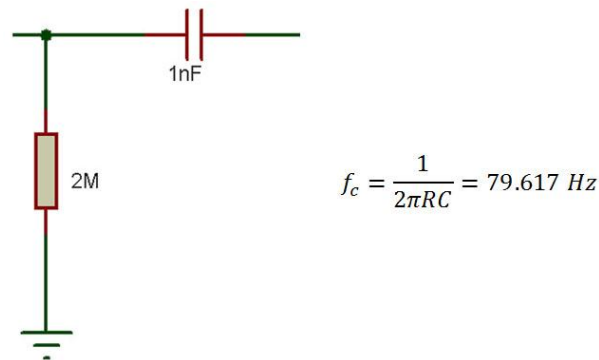


Figura 3.15. Filtro eliminador de DC.

Filtro Limitador de Banda Rx. Este filtro es igual al filtro limitador de banda de transmisión y cumple la misma función, dejar pasar al siguiente módulo señales de hasta 3000 Hz, aproximadamente.

Amplificador. Para amplificar las señales de $\pm 250\text{mV}$ provenientes del módulo filtro limitador de banda Rx, se utilizó un amplificador operacional en configuración no inversora. Tiene una ganancia de 20, por lo cual a su salida entrega 5V para valores de 250mV, y -5V para valores de -250mV. En la figura 3.16 se muestra este circuito.

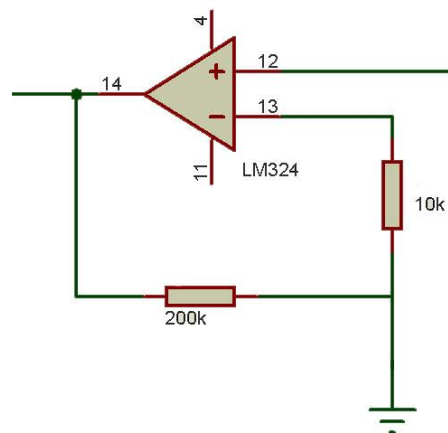


Figura 3.16. Amplificador de voltaje.

Detector de Pulsos Positivos y Detector de Pulsos Negativos. El amplificador de voltaje entrega señales de valores 5V, 0V y -5V, que representan los tres niveles de la codificación HDB3. Sin embargo, como el microcontrolador no tiene la capacidad de trabajar con valores negativos de voltaje, se utilizaron dos módulos de comparación de voltaje, uno que se encarga de los voltajes positivos y otro los voltajes negativos. Ambos módulos reciben la misma información, pero cada uno sólo procesa la que tenga la polaridad de voltaje que le corresponde. En la figura 3.17 se muestra el esquema circuital.

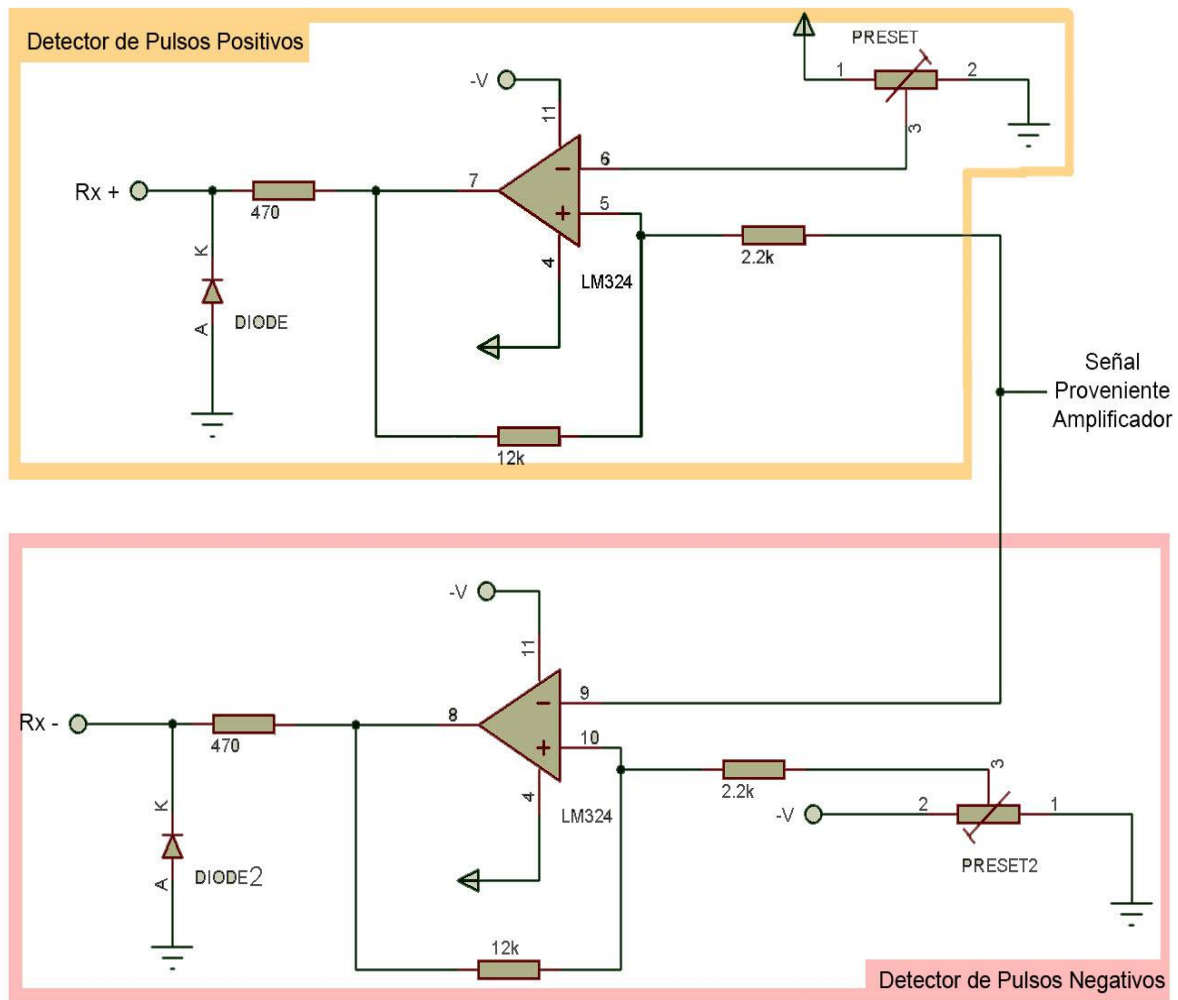


Figura 3.17. Diagrama circuital de los comparadores con histéresis encargados de la detección de pulsos positivos y negativos.

Cada módulo está compuesto por un amplificador operacional con realimentación positiva, de tal forma que se genere un comparador con histéresis.

Básicamente el circuito recibe una señal de voltaje en una entrada y la compara con un voltaje de referencia, proporcionando uno de dos estados en su salida, voltaje de saturación positivo o voltaje de saturación negativo. El comparador con histéresis proporciona un voltaje de saturación positivo cuando la señal de entrada rebasa un voltaje de umbral superior (V_{us}) y un voltaje de saturación negativo cuando la señal de entrada desciende por debajo de un voltaje de umbral inferior (V_{ui}). En la figura 3.18 se presenta en forma gráfica este concepto.

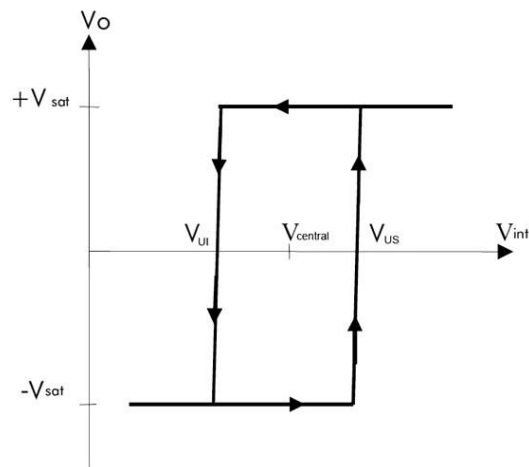


Figura 3.18. Comportamiento de comparador con histéresis.

La relación entre el estímulo y la respuesta obedece a una curva cíclica, lo que quiere decir que no hay linealidad. Además, el sistema tiene una característica básica de “memoria”, es decir, el estado actual depende del estado anterior, no solamente del valor del estímulo.

El comparador con histéresis encargado de identificar los pulsos positivos o negativos, tiene un valor de voltaje central, alrededor del cual se crea una banda, limitada por los valores de voltaje de umbral superior e inferior. Sólo cuando hay un cambio de voltaje de entrada suficiente para que la señal pase del umbral inferior al superior o viceversa, se considera que hubo un cambio de flanco. Esto incrementa la robustez del sistema contra el ruido y las falsas detecciones de flancos de subida y bajada. En la figura 3.19 se muestra este concepto. La franja superior de la figura (color verde) representa al módulo detector de pulsos positivos, y la franja inferior (color azul) representa al módulo detector de pulsos negativos. Cada módulo cuenta con un *preset* de resistencia variable el cual se utiliza para fijar de manera experimental los valores de voltaje deseados para definir las franjas.

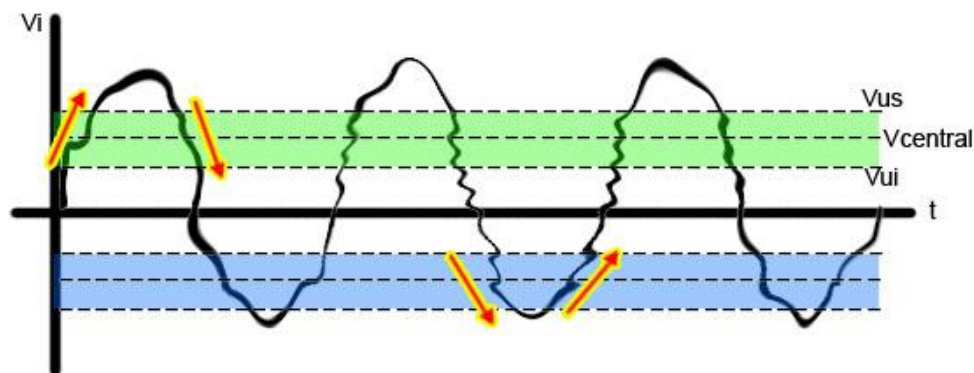


Figura 3.19. Representación gráfica de las franjas de voltaje generadas por dos comparadores con histéresis.

- **Conector Tarjetas y Conector Radio**

El conector tarjetas es el que permite realizar la interconexión entre las tarjetas que componen a la unidad móvil y el conector radio es el que permite interconectar la tarjeta de adaptación radio con el radio móvil convencional de dos vías Motorola PRO 3100.

3.1.4.3 Circuito Adaptador de Voltaje

Para la obtención de voltajes duales de polarización (+5V y -5V) necesarios para alimentar la circuitería de la unidad móvil, se utilizó un esquema que permite conseguir voltajes duales a partir de un nivel DC positivo, en este caso los 12V entregados por una batería.

El circuito implementado consta de dos etapas principales, la primera se encarga de disminuir el voltaje de alimentación de 12V a 10V, y la segunda etapa convierte este voltaje de entrada a la mitad, de manera dual, es decir, se obtienen +5V en una derivación y -5V en la otra. La primera etapa está conformada por un circuito integrado 7810, el cual se encarga de regular un voltaje de salida de 10V, a partir de la entrada de 12V. En la entrada del integrado hay un condensador de 0.33uF y en la salida uno de 0.1uF que hacen parte de la configuración definida por el integrado. La segunda etapa inicia con el potenciómetro de 10KΩ, a través del cual existen 10V, el cual se descompone en los voltajes duales definidos. En la figura 3.20 se muestra el diagrama del circuito implementado.

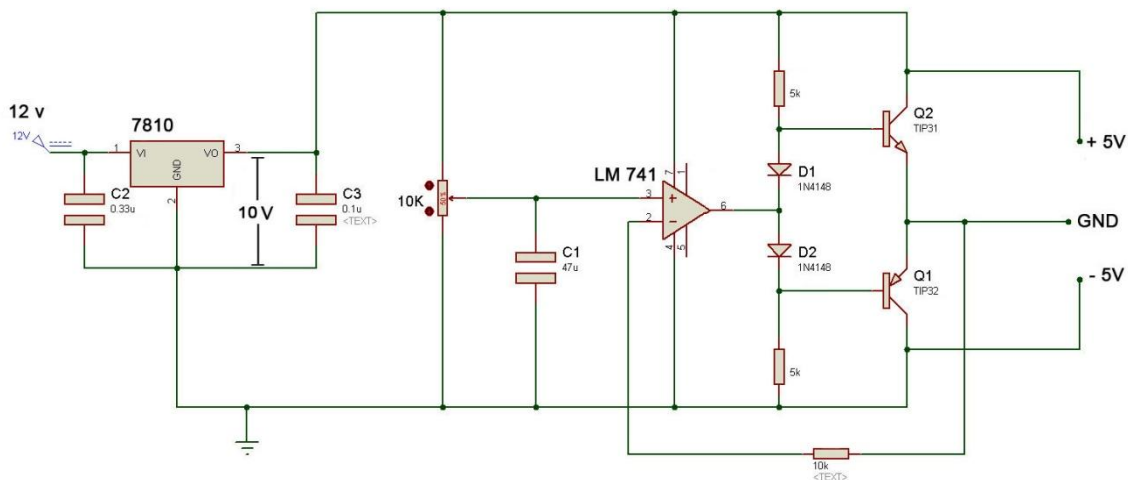


Figura 3.20. Diagrama circuitual de adaptador de voltaje fijo (12V) a voltaje dual ($\pm 5V$).

3.1.4.4 Interfaz Física de Usuario de la Unidad Móvil

Conformada por el *buzzer*, para alertar al conductor cuando lleguen mensajes desde la central de despacho; el LCD, donde se puede visualizar información del sistema; el teclado, utilizado para el inicio y cierre de sesión del conductor e interactuar con el sistema; el botón de pánico; y tres LEDs (Rojo: encendido, Amarillo: canal ocupado y

Verde: transmitiendo). Estos elementos se unen en una sola estructura que provee una interfaz de usuario sencilla de manejar y que brinda información útil al conductor. En la figura 3.21 se muestra la interfaz.

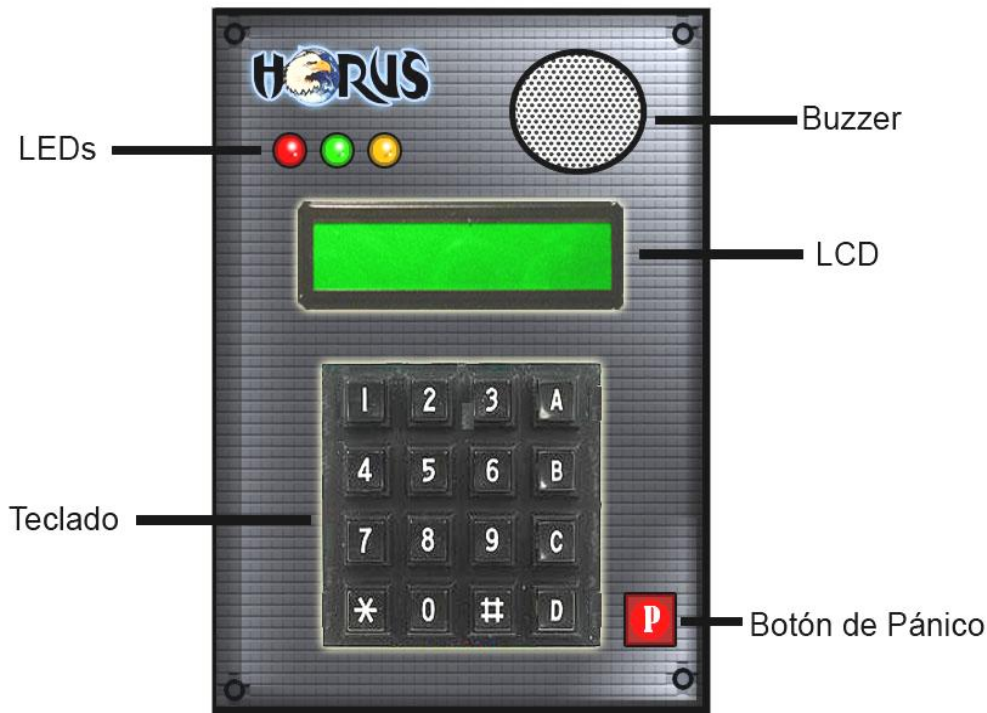


Figura 3.21. Interfaz física de usuario de la unidad móvil.

3.2 SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO

El sistema de comunicación inalámbrico está representado por el Bloque Radios Móviles, el cual se compone de los bloques Radio Móvil VH y Radio Móvil CD. En cada bloque se utiliza un radio Motorola PRO 3100, el cual se describe a continuación:

3.2.1 Radio Motorola PRO3100

El Motorola PRO3100 es un radio convencional de dos vías que ofrece funcionalidad sencilla y de alto desempeño. Este radio permite comunicaciones unidad a unidad o unidad a estación central. El radio cuenta con un puerto de datos programable a través del cual se puede realizar transmisión y recepción de voz y datos. El radio se encuentra programado para ofrecer un ancho de banda de 12.5 KHz. En la figura 3.22 se muestra el radio.



Figura 3.22. Radio Motorola PRO3100.

En la tabla 3.3 se muestra la potencia de transmisión, frecuencias de operación y ancho de banda del radio. Estos parámetros se encontraban programados previamente en el radio.

POTENCIA DE TRANSMISIÓN (W)	FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN (MHZ)	FRECUENCIA DE RECEPCIÓN (MHZ)	ANCHO DE BANDA (KHZ)
20	151.162	150.2	12.5

Tabla 3.3. Configuración del radio Motorola PRO3100.

3.2.1.1 Puerto de Datos Radio Motorola

El radio Motorola PRO3100 cuenta con un puerto de datos propietario de 20 pines, de los cuales se usaron 6. En la figura 3.23 se muestra el puerto y se indican los pines utilizados.

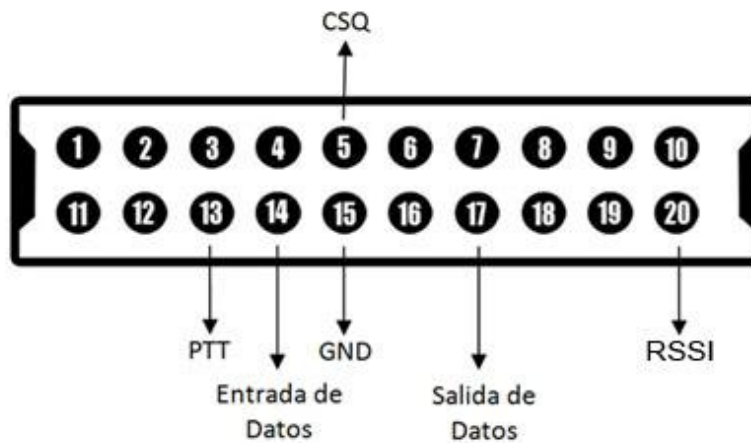


Figura 3.23. Puerto de datos radio Motorola PRO3100.

PIN 5. Portadora (CSQ, *Carrier Squelch*): este pin de salida se usa para detectar la presencia de la señal portadora. Su estado normal es bajo, cuando hay detección de portadora cambia a alto.

PIN 13. Presione para Hablar (PTT, *Push to Talk*): este pin de entrada se usa para colocar al radio en estado de transmisión. El estado normal de este pin es alto, y cuando se desea transmitir debe aterrizar.

PIN 14. Entrada de Datos: este pin permite el ingreso de los datos que van a ser transmitidos por el radio. El nivel de voltaje que se introduce debe ser bajo, del orden de los milivoltios.

PIN 15. Tierra (GND, *Ground*): este pin ofrece la tierra del radio que se une a la tierra del circuito general.

PIN 17. Salida de Datos: este pin permite leer los datos recibidos por el radio. La señal recibida tiene un nivel del orden de los milivoltios.

PIN 20. Indicador de Intensidad de de la Señal Recibida (RSSI, *Receive Signal Strength Indication*): este pin indica la fuerza de la señal de recepción. Indica un valor de voltaje, dependiendo de la intensidad de señal que se tiene en el radio.

3.2.1.2 Cálculo del Ancho de Banda Teórico

Para realizar el cálculo del ancho de banda utilizado, se usa la regla de Carlson (29), la cual se indica en la ecuación 3.1.

$$B = 2(f_{\Delta} + R) \quad (3.1)$$

Donde:

f_{Δ} : Desviación de frecuencia [Hz].

R: Tasa de bits [Hz].

Tomando una velocidad de transmisión de datos máxima nominal de 3000 bps, y un valor de desviación de frecuencia de 2.97409 KHz²⁴ correspondiente a un voltaje de entrada de 500 mVPP, y reemplazando en la ecuación 3.1 se tiene:

$$B = 2(2974.09 + 3000) \\ B = 11.94818 \text{ KHz}$$

El ancho de banda teórico necesario para transmitir la señal emitida por el radio a una velocidad de transmisión de datos máxima de 3 Kbps es 11.94818 KHz.

²⁴ en la sección A.3.4.1 del anexo A, se explica el proceso para encontrar la desviación de frecuencia.

3.3 ESTACIÓN DE CONTROL

En la figura 2.7 se observa el bloque estación control, el cual está conformado por cinco componentes que permiten representar de manera general sus características y funcionalidades dentro del sistema. La implementación de este bloque en un ambiente real está ligada a componentes más específicos que interactúan entre sí de acuerdo a una lógica determinada, lo cual hace necesario recurrir a un diagrama que permita visualizar la implementación del bloque estación de control de manera detallada.

La figura 3.24 muestra los componentes más relevantes del bloque estación control y su interacción a través de diferentes tecnologías y protocolos de comunicación de datos, lo que se considera como la arquitectura básica de HORUS para el despliegue de servicios.

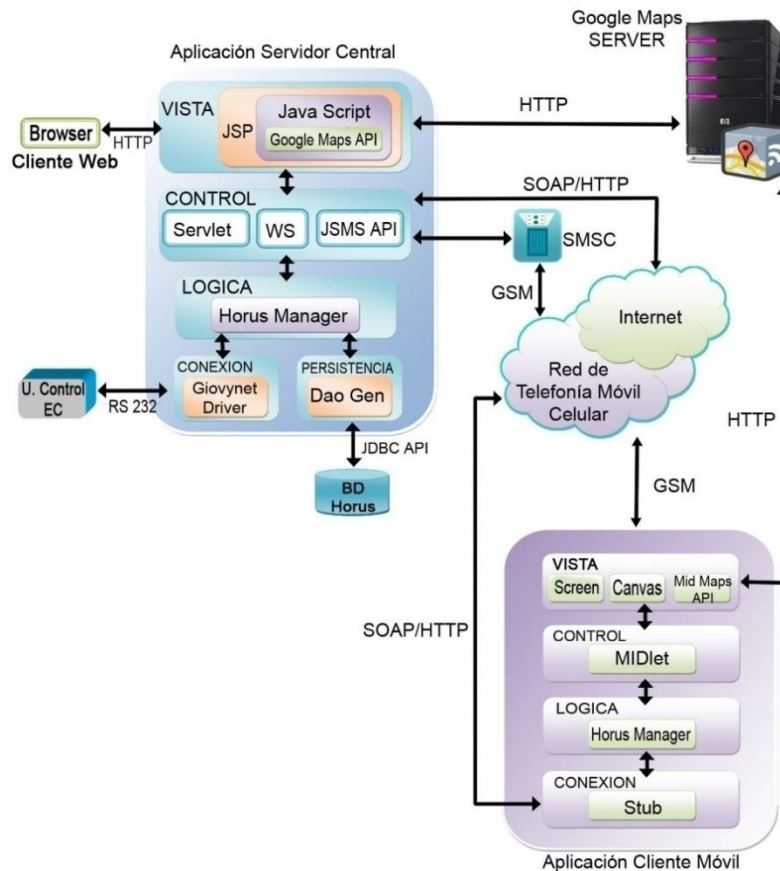


Figura 3.24. Arquitectura básica de HORUS para el despliegue de servicios.

A excepción de la unidad de despliegue de información, que en este caso está compuesta por el cliente web y el cliente móvil, la arquitectura básica de HORUS para el despliegue de servicios permite identificar los demás componentes mencionados en el bloque estación central y la estructura interna de las aplicaciones desarrolladas para darle funcionalidad a HORUS.

3.3.1 Interfaces del Bloque Estación de Control

Todos y cada uno de los componentes mencionados en la arquitectura de HORUS para el despliegue de servicios cumplen una función específica y su interacción con otros componentes está condicionada a la lógica implementada por las aplicaciones desarrolladas para el servidor central y el cliente móvil, las cuales satisfacen los requerimientos de los servicios que se desplegarán; sin embargo se considera necesario definir unas interfaces que faciliten la conexión e interacción entre componentes, las cuales permitirán explicar detalladamente el funcionamiento del bloque estación central a partir de la arquitectura planteada. Las interfaces implementadas se listan a continuación:

- Interfaz Cliente Web – Servidor Central.
- Interfaz Servidor de Mapas – Servidor Central.
- Interfaz Base de Datos – Servidor Central.
- Interfaz Unidad de Control EC – Servidor Central.
- Interfaz Cliente Móvil – Servidor Central.
- Interfaz Servidor de Mapas – Cliente Móvil.
- Interfaz Red de Telefonía Móvil Celular – Servidor Central.

3.3.1.1 Interfaz Cliente Web - Servidor Central

Esta interfaz permite que mediante un navegador web²⁵ (*browser*), los usuarios de HORUS puedan acceder a la aplicación web desplegada por el servidor central, según sea el tipo específico de usuario (administrador, cliente u operador), y hacer uso de los servicios que HORUS les ofrece. Las interfaces gráficas de la aplicación están desarrolladas en Páginas Java de Servidor (JSP²⁶, *Java Server Pages*) y a través de éstas, los usuarios intercambian información con el *Servlet*²⁷, el cual es el encargado de controlar el flujo de la aplicación e invocar los métodos de la clase *HorusManager*, la cual implementa la lógica de los servicios. La figura 3.25 muestra gráficamente los componentes de esta interfaz.

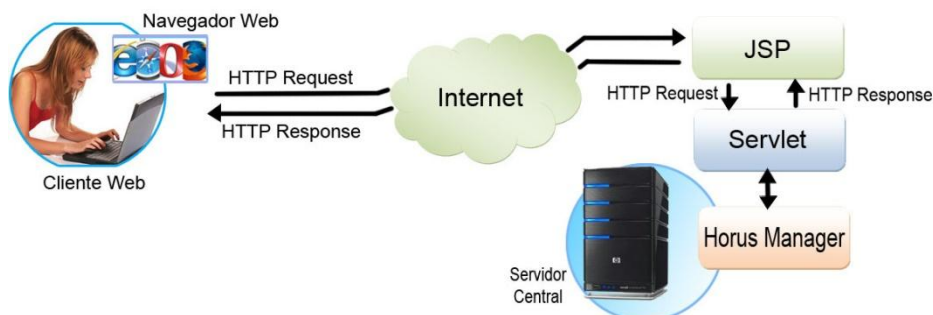


Figura 3.25. Estructura de la interfaz Cliente Web – Servidor Central.

²⁵ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.1 del anexo A.

²⁶ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.3 del anexo A.

²⁷ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.2 del anexo A.

3.3.1.2 Interfaz Servidor de Mapas - Servidor Central.

Esta interfaz permite incluir mapas digitales mediante la implementación de etiquetas *Java Script*²⁸ en las interfaces gráficas que despliega el servidor central. La versión 3 de la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API²⁹, *Application Programming Interface*) de *Google Maps*³⁰ facilita la conexión con el servidor de mapas a través de peticiones HTTP y hace posible el despliegue y manipulación de los mapas de Google, con el fin de incluir en ellos las coordenadas geográficas de los vehículos y la información asociada que se obtiene de la base de datos a través de la clase que implementa la lógica de los servicios, con el fin de facilitar las tareas de control y monitoreo. La figura 3.26 muestra un diagrama que representa los componentes de esta interfaz.

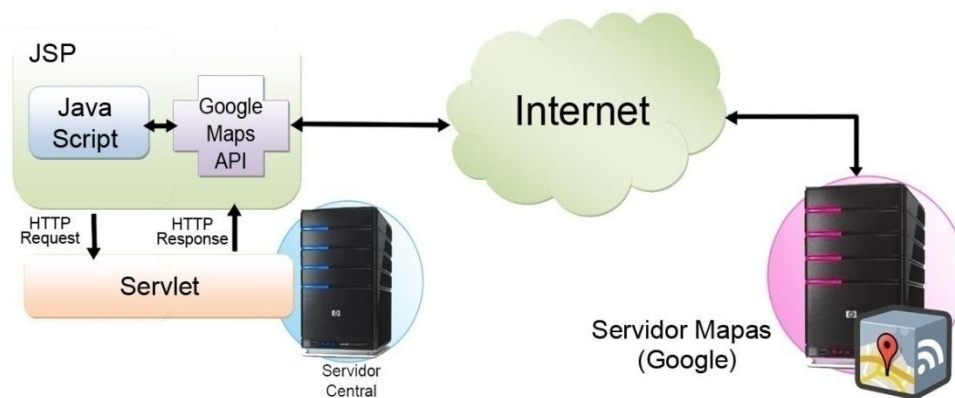


Figura 3.26. Estructura de la interfaz Servidor de Mapas – Servidor Central.

3.3.1.3 Interfaz Base de Datos - Servidor Central

De acuerdo a la lógica que implementan los servicios de HORUS, es necesario extraer, modificar, almacenar y eliminar información en la base de datos del sistema. El paquete persistencia de la aplicación desarrollada contiene clases creadas con el Generador de Código de Objetos para Acceso a Datos (DaoGen³¹, *Data Access Object Code Generator*), las cuales posibilitan la conexión con la base de datos a través del API de Java para Conexión de Bases de Datos (JDBC³², *Java Database Connection*). En la figura 3.27 se muestran los componentes de esta interfaz.

²⁸ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.4 del anexo A.

²⁹ Es el conjunto de funciones y procedimientos (o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece cierta librería para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.

³⁰ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.5 del anexo A.

³¹ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.6 del anexo A.

³² Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.7 del anexo A.

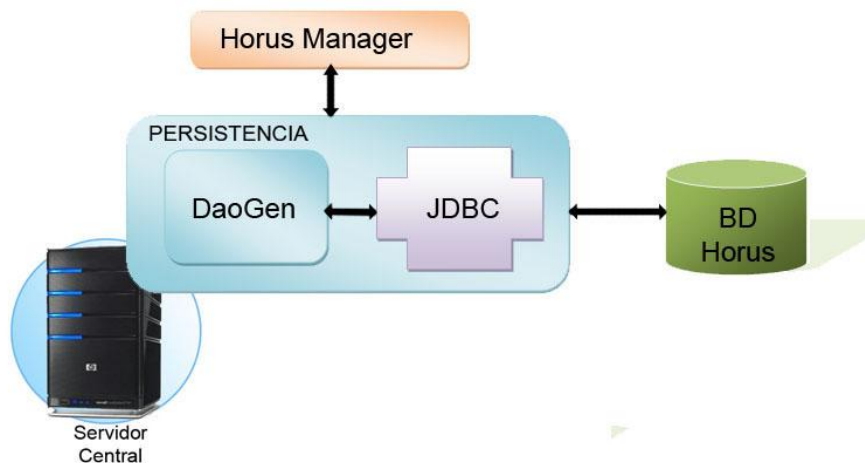


Figura 3.27. Estructura de la interfaz Base de Datos – Servidor Central.

3.3.1.4 Interfaz Unidad de Control EC - Servidor Central

Esta interfaz define las clases encargadas de garantizar la comunicación entre el servidor central y la UCCA - EC, implementando la librería GiovyNet³³. De esta manera todos los datos provenientes de la Unidad Móvil y capturados por la estación de control, a través de uno de los radios convencionales de dos vías, son enviados al servidor central mediante la interfaz RS-232³⁴ (Recommended Standard 232) para comunicación serial y almacenados en la base de datos según la lógica de los servicios. La figura 3.28 muestra los componentes de esta interfaz.

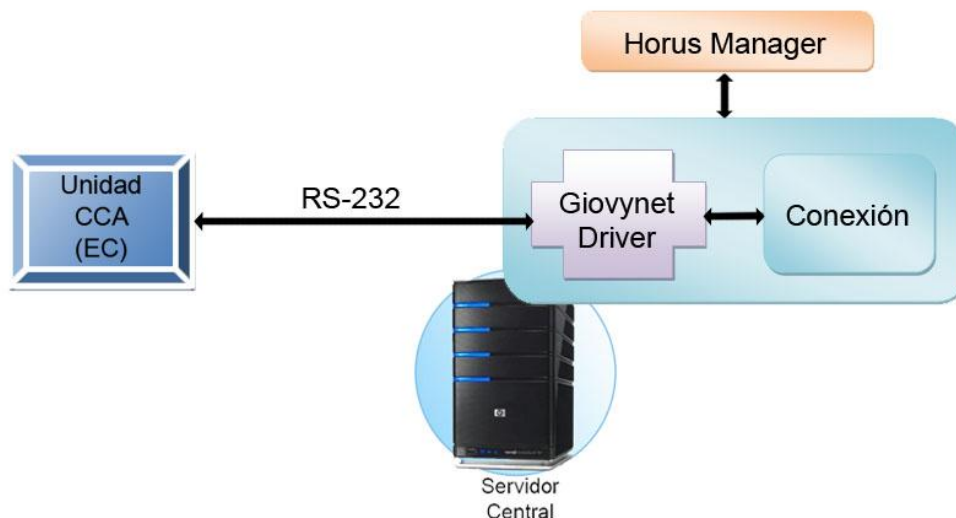


Figura 3.28. Estructura de la interfaz Unidad de Control EC – Servidor Central.

³³ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.8 del anexo A.

³⁴ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.9 del anexo A.

3.3.1.4.1 Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento (UCCA-EC)

La unidad de control, conmutación y acondicionamiento ubicada en la estación de control cuenta con varios de los módulos presentes en la unidad móvil, sin embargo, la diferencia fundamental está en que no cuenta con interfaz de usuario, a excepción de tres LEDs indicadores (rojo, amarillo, verde).

Esta unidad está conformada por un PIC 18F452 de Microchip; las etapas de transmisión y recepción HDB3, las cuales son iguales a las de la unidad móvil; un conector radio que permite la comunicación entre la circuitería y el radio convencional de dos vías; y una etapa de conexión serial. La figura 3.29 muestra las etapas hardware que conforman esta unidad.

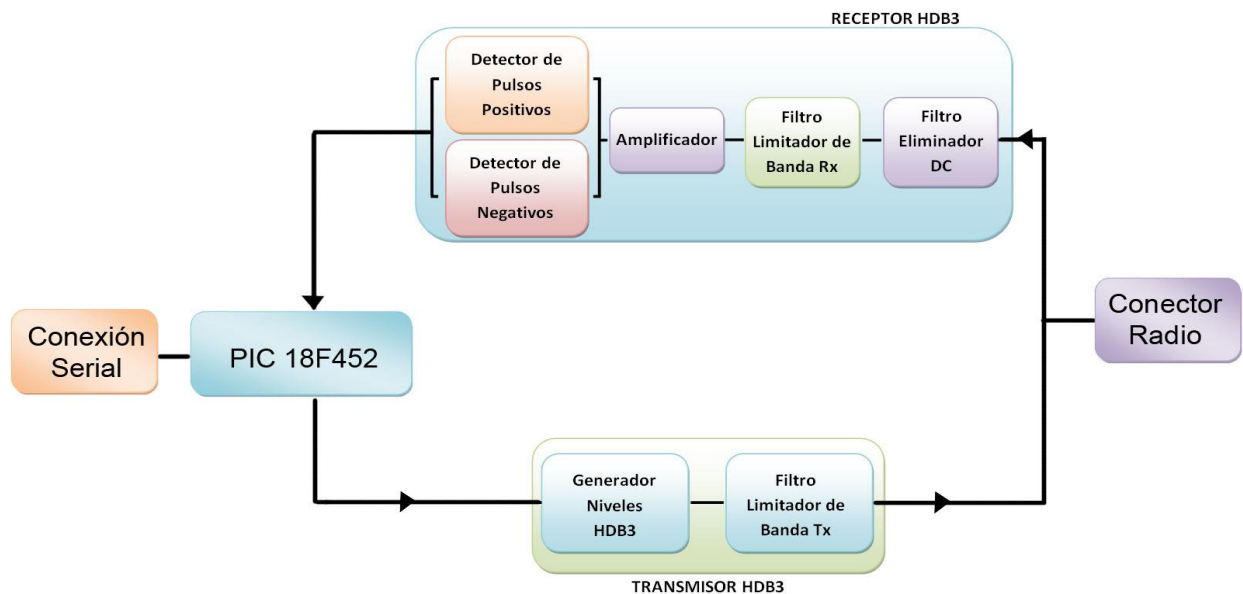


Figura 3.29. Etapas hardware que conforman la tarjeta de la UCCA-EC.

3.3.1.4.1.1 Conexión Serial.

La interconexión de la tarjeta de UCCA-EC con el servidor central, se hace por medio de la interfaz y protocolo RS-232. Los pines 25 y 26 del microcontrolador se conectan con un MAX-232 que a su vez se conecta con un puerto DB9 hembra. La figura 3.30 muestra el diagrama de la conexión serial.

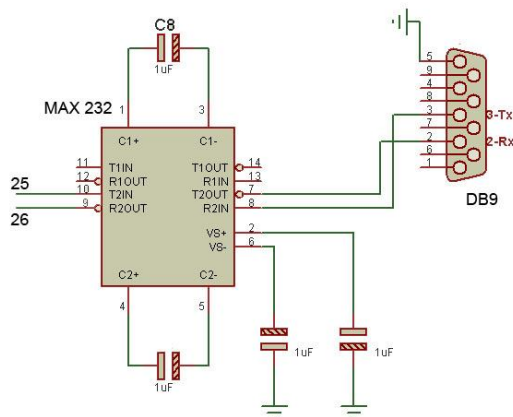


Figura 3.30. Diagrama circuital que permite una comunicación serial.

3.3.1.5 Interfaz Cliente Móvil - Servidor Central

Esta interfaz hace posible la comunicación entre el cliente móvil y el servidor central a través de la implementación de servicios web³⁵. El *stub*³⁶ creado en el cliente móvil realiza peticiones al servidor central mediante el Protocolo Simple de Acceso a Objetos (SOAP³⁷, *Simple Object Access Protocol*) con el fin de utilizar las operaciones definidas en el servicio web publicado por el servidor central a través del Lenguaje para Descripción de Servicios Web (WSDL³⁸, *Services Description Language*) y solicitar la información relacionada con los vehículos y usuarios registrados en HORUS. Esta información es desplegada mediante formularios en las interfaces gráficas diseñadas para la aplicación móvil según la lógica del servicio. La figura 3.31 muestra los componentes de esta interfaz.

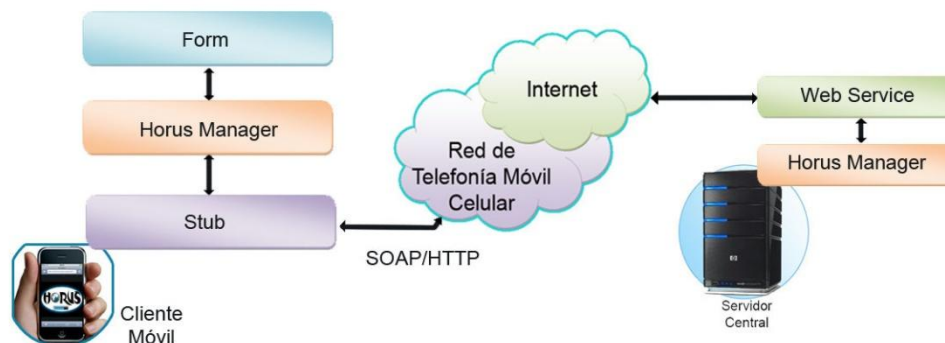


Figura 3.31. Estructura de la interfaz Cliente Móvil – Servidor Central.

³⁵ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.10 del anexo A.

³⁶ En computación distribuida, el *stub* es una pieza de código utilizado para la conversión de los parámetros pasados durante una llamada a procedimientos remotos (RPC, *Remote Procedure Calls*). Se comporta como un proxy en el cliente de un servicio web.

³⁷ Protocolo de comunicación basado en XML y está diseñado para intercambiar información estructurada en un entorno descentralizado y distribuido. Los servicios web normalmente utilizan el protocolo SOAP para las comunicaciones.

³⁸ Lenguaje de interfaz pública para los servicios web. Es una descripción basada en XML de los requisitos funcionales necesarios para establecer una comunicación con los servicios web.

3.3.1.6 Interfaz Servidor de Mapas - Cliente Móvil

Esta interfaz es la encargada de realizar las solicitudes de las imágenes digitales al servidor de mapas de Google implementando la API MidMaps³⁹, para desplegarlas en las interfaces de la aplicación desarrollada para el dispositivo móvil. Los parámetros del mapa están definidos según el requerimiento del cliente, y según los parámetros de localización obtenidos desde el servidor central a través de la interfaz Cliente Móvil – Servidor Central. La figura 3.32 muestra los componentes de esta interfaz.

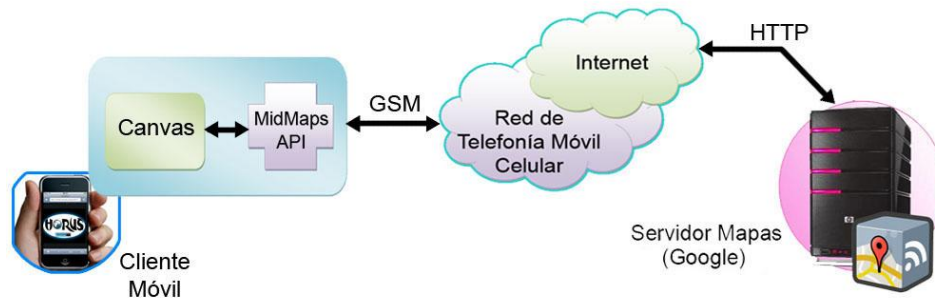


Figura 3.32. Estructura de la interfaz Cliente Móvil – Servidor de Mapas.

3.3.1.7 Interfaz Red de Telefonía Móvil Celular - Servidor Central

Esta interfaz extiende las funcionalidades de HORUS al implementar mensajes de texto para ofrecer servicios de localización. Cuando un cliente móvil envía un mensaje de texto con el identificador del vehículo (ID) que desea monitorear, el Servidor Central lo recibe a través de un Centro de Mensajes Cortos (SMSC⁴⁰, *Short Message Service Center*) y según los parámetros del mensaje lo procesa de acuerdo a la lógica del servicio, mediante las funcionalidades que ofrece la API JSMS⁴¹ para enviar Mensajes Cortos (SMS⁴², *Short Messages*) como respuesta al cliente. La Figura 3.33 muestra los componentes de esta interfaz.

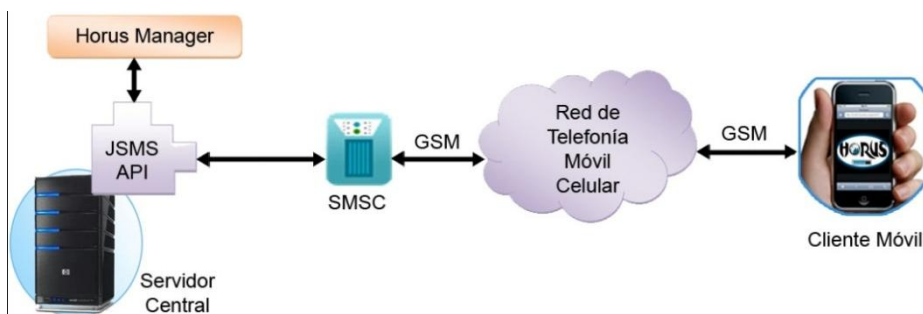


Figura 3.33. Estructura de la interfaz Red de Telefonía Móvil Celular – Servidor Central.

³⁹ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.11 del anexo A.

⁴⁰ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.12 del anexo A.

⁴¹ Ampliación de este concepto en la sección A.3.5.13 del anexo A.

⁴² Sistema de mensajes de texto cortos para teléfonos móviles.

3.3.2 Descripción de Aplicaciones Implementadas en el Bloque Estación Control

En la figura 3.24, se observa que las aplicaciones desarrolladas para el servidor central y para el cliente móvil agrupan en diferentes niveles los elementos definidos en las interfaces implementadas para la comunicación e interacción entre componentes. Sin embargo, es necesario aclarar que además de dichos componentes existen fragmentos de código desarrollados en el lenguaje de programación Java que según la lógica de los servicios, también definida en estos fragmentos de código, aprovechan las características de los componentes y los controlan para brindar la funcionalidad de cada interfaz. Estos niveles se denominarán como paquetes y en las figuras 3.34 y 3.35 se muestra una representación gráfica, donde se mencionan los paquetes definidos en cada aplicación y su relación entre sí.

3.3.2.1 Descripción de la Aplicación para el Servidor Central

La aplicación web desarrollada para el servidor central recibe el nombre de “HorusWebApp” y está diseñada para implementar las interfaces de comunicación con los demás componentes del bloque estación control; para definir e implementar la lógica de los servicios y para desplegarlos con el fin de que puedan ser consumidos por los usuarios del sistema. Esta aplicación se distribuye mediante un archivo con extensión “.war” (HorusWebApp.war), mediante el cual se instala la aplicación en cualquier servidor que implemente contenedores web para dar soporte al despliegue de este tipo de aplicaciones.

En la figura 3.34 se muestra un diagrama donde se pueden visualizar los paquetes definidos en el diseño de esta aplicación:

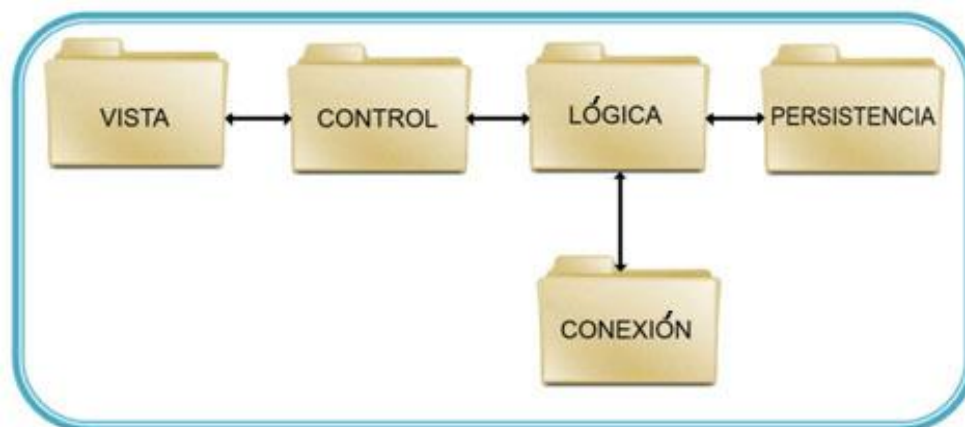


Figura 3.34. Diagrama de paquetes para HorusWebApp.

A continuación se listan los archivos contenidos en los diferentes paquetes mencionados en la figura 3.34.

3.3.2.1.1 Paquete Vista. En este paquete se encuentran agrupados todos los archivos que despliegan las interfaces gráficas de la aplicación web, interfaces diseñadas para ofrecer los servicios de HORUS a Clientes, Administradores y Operadores del sistema. A través de las JSP desplegadas en un navegador web, se brinda al usuario la posibilidad de intercambiar información con el servidor central.

Los archivos que conforman este paquete son:

- index.jsp
- inicio.jsp
- gestionusuarios.jsp
- informacion.jsp
- plantilla_horus.jsp
- googlemap.jsp
- barralocalizar.jsp
- barraoperador.jsp
- barraclientes.jsp
- btngestionusers.jsp
- mensajesop.jsp
- gestionareas.jsp
- tablatareas.jsp
- formexp.js

3.3.2.1.2 Paquete Control. En este paquete se encuentran agrupados todos los archivos encargadas de controlar el flujo de la aplicación y de responder a los eventos producidos por las diferentes interfaces. Las clases que conforman este paquete son:

- HoruServlet.java
- HorusWebService.java
- HorusSMS.java
- HorusHardware.java

3.3.2.1.3 Paquete Lógica. En este paquete se encuentran agrupados los archivos encargados de implementar toda la lógica de la aplicación desarrollada para el servidor central. Los métodos definidos en estas clases ejecutan según los servicios a desplegar, todas las operaciones y cálculos necesarios con la información obtenida de la base de datos, para garantizar el correcto funcionamiento de la aplicación web y de los servicios a desplegar. Las clases que conforman este paquete son:

- HorusManager.java
- MensajesSMS.java

3.3.2.1.4 Paquete Conexión. En este paquete se encuentran agrupados los archivos necesarios para implementar la interfaz Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC – Servidor Central. Este paquete permite interpretar y almacenar en la base de datos la información proveniente de las unidades móviles a partir de la cual se van a desplegar los servicios de geolocalización, control y monitoreo característicos de HORUS. Las clases que conforman este paquete son:

- HardwareEvent.java
- HardwareFactory.java

- HardwareSerial.java
- HardwareListener.java
- HardwareInterface.java
- HardwareException.java
- InvalidParametersException.java

3.3.2.1.5 Paquete Persistencia. En este paquete se encuentran agrupados los archivos que permiten acceder a las diferentes tablas que componen la base de datos, con el fin de obtener y modificar la información relacionada con los usuarios, vehículos, posiciones geográficas, recorridos, direcciones, emergencias y tareas asignadas. Estas clases fueron creadas con el generador de código de objetos para acceso a datos (DaoGen). Las clases que conforman este paquete son:

- Usuario.java
- UsuarioDao.java
- Cliente.java
- ClienteDao.java
- Conductor.java
- ConductorDao.java
- Vehiculo.java
- VehiculoDao.java
- Direccion.java
- DireccionDao.java
- Emergencia.java
- EmergenciaDao.java
- Recorrido.java
- RecorridoDao.java
- Tarea.java
- TareaDao.java
- NotFoundException.java

3.3.2.2 Descripción de la Aplicación para el Cliente Móvil

La aplicación desarrollada para los clientes móviles recibe el nombre de “HorusMobileApp” y está diseñada para utilizar los servicios de HORUS a través de un dispositivo móvil con soporte para aplicaciones Java. La aplicación se distribuye mediante un archivo con extensión “.jar” (HorusMobileApp.jar), mediante el cual puede ser instalada en cualquier teléfono celular con versiones de CLDC⁴³ 1.1 y MIDP⁴⁴ 2.0 o superior. Esta aplicación brinda la posibilidad de conectarse con el servidor central y con el servidor de mapas de Google para desplegar en las interfaces diseñadas para este tipo de dispositivos, el mapa con los datos de geolocalización y la información relacionada con los vehículos asociados a HORUS.

En la figura 3.35 se muestra un diagrama donde se pueden visualizar los paquetes definidos en el diseño de esta aplicación:

⁴³ CLDC (ConnectionLimited DeviceConfiguration). Es una especificación de una estructura de soporte para las aplicaciones Java ME que describe el conjunto básico de las librerías y las características de la máquina virtual necesarias para el funcionamiento de este tipo de aplicaciones.

⁴⁴ MIDP (MobileInformationDeviceProfile). Es una versión de J2ME integrada en el hardware de celulares relativamente modernos que permite el uso de programas java denominados MIDlets.

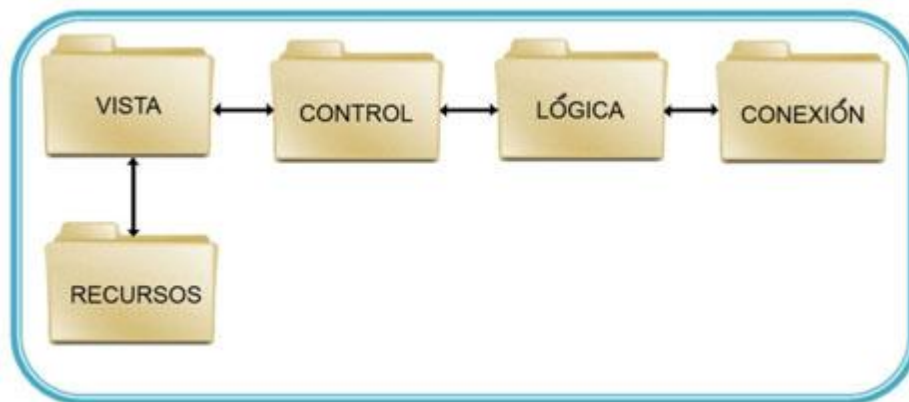


Figura 3.35. Diagrama de paquetes para HorusMobileApp.

3.3.2.2.1 Paquete Vista. En este paquete están definidas todas las interfaces gráficas diseñadas para facilitar el intercambio de información entre el usuario y la aplicación. Las clases “Screen” y “Canvas” de JavaME son implementadas dentro del código para generar las interfaces de alto y bajo nivel con un alto grado de portabilidad y funcionalidad; además de un aspecto agradable a la aplicación. Las clases que conforman este paquete son:

- Splash.java
- InicioSesionForm.java
- MenuForm.java
- Transmitiendo.java
- InfoForm.java
- InicioForm.java
- GoogleMapsCanvas.java
- googleMapsPathCanvas.java

3.3.2.2.2 Paquete Control. En este paquete se encuentra la MIDlet; una clase definida por Java ME encargada de controlar el flujo y el ciclo de vida de la aplicación móvil mediante métodos predefinidos. El MIDlet implementado recibe el nombre de *Horus.java* y también está encargado de manejar gran parte de la lógica de la aplicación.

3.3.2.2.3 Paquete Lógica. En este paquete se encuentra implementada la clase *ManagerConnection.java* y es la encargada de manejar la lógica necesaria para invocar los métodos encargados de establecer la comunicación con el servidor central y garantizar el intercambio de información a través del *stub* creado en el paquete conexión.

3.3.2.2.4 Paquete Conexión. En este paquete se encuentran agrupados los archivos encargados de establecer la comunicación y garantizar el intercambio de información con el servidor central. La clase *HorusWebService_Stub.java* representa al servidor en el dispositivo móvil y al cliente en el servidor central, implementando el *stub* a través del cual se realiza mediante solicitudes HTTP/SOAP, la invocación de los métodos definidos en el servicio web desplegado por el servidor central. Las clases que conforman este

paquete son:

- HorusWebService.java
- HorusWebService_Stub.java
- GetCoordenadas.java
- GetCoordenadasResponse.java
- GetDriver.java
- GetDriverResponse.java
- GetIdVehiculo.java
- GetIdVehiculoResponse.java
- GetLatitud.java
- GetLatitudResponse.java
- GetLongitud.java
- GetLongitudResponse.java
- GetRutaLats.java
- GetRutaLatsResponse.java
- GetRutaLongs.java
- GetRutaLongsResponse.java
- GetVehiculo.java
- GetVehiculoResponse.java
- ValidarCliente.java
- ValidarClienteResponse.java
- Usuario.java
- Vehiculo.java
- Recorrido.java

3.3.2.2.5 Paquete Recursos. En este paquete se encuentra la clase *ResourceLoader.java*, la cual define los métodos que permiten desplegar la aplicación móvil, animaciones e imágenes en la interfaz a través de la clase *ImageItem* definida en Java ME.

3.3.3 Estructura y Diseño de la Base de Datos

El diseño de bases de datos se descompone en tres etapas: diseño conceptual, diseño lógico y diseño físico (30). El diseño conceptual es el proceso por el cual se construye un modelo de la información que se utiliza en un sistema específico, independientemente del Sistema de Gestión de Base de Datos (DBMS, *Data Base Management System*) que se vaya a utilizar para implementar el sistema y de los equipos informáticos o cualquier otra consideración física. El diseño conceptual parte de las especificaciones de los requisitos del usuario y su resultado es el esquema conceptual de la base de datos, el cual implementa un modelo conceptual como lenguaje de descripción. Un modelo conceptual es un conjunto de conceptos que permiten describir la realidad mediante representaciones lingüísticas y gráficas. Los modelos conceptuales deben poseer una serie de propiedades: expresividad, simplicidad, minimalidad y formalidad (30).

El diseño lógico parte del esquema conceptual y da como resultado un esquema lógico; es decir, una descripción de la estructura de la base de datos en términos de las estructuras de datos que puede procesar un tipo de DBMS.

El modelo conceptual más utilizado es el modelo entidad-relación, que a su vez permite representar el diseño lógico, ya que posee los siguientes conceptos: entidades, relaciones, atributos, dominios de atributos, identificadores y jerarquías de generalización. En la figura 3.36 se muestra la implementación de este modelo para describir la base de

datos diseñada para HORUS.

El diseño físico da como resultado una descripción de la implementación de una base de datos, de las estructuras de almacenamiento y los métodos utilizados para tener un acceso eficiente a los datos. Por ello, el diseño físico depende del DBMS concreto y el esquema físico se expresa mediante su lenguaje de definición de datos, en este caso el Lenguaje de Consulta Estructurado (SQL⁴⁵, *Structured Query Language*). La herramienta o el DBMS utilizado para implementar físicamente la base de datos diseñada para HORUS fue PostgreSQL 8.4.

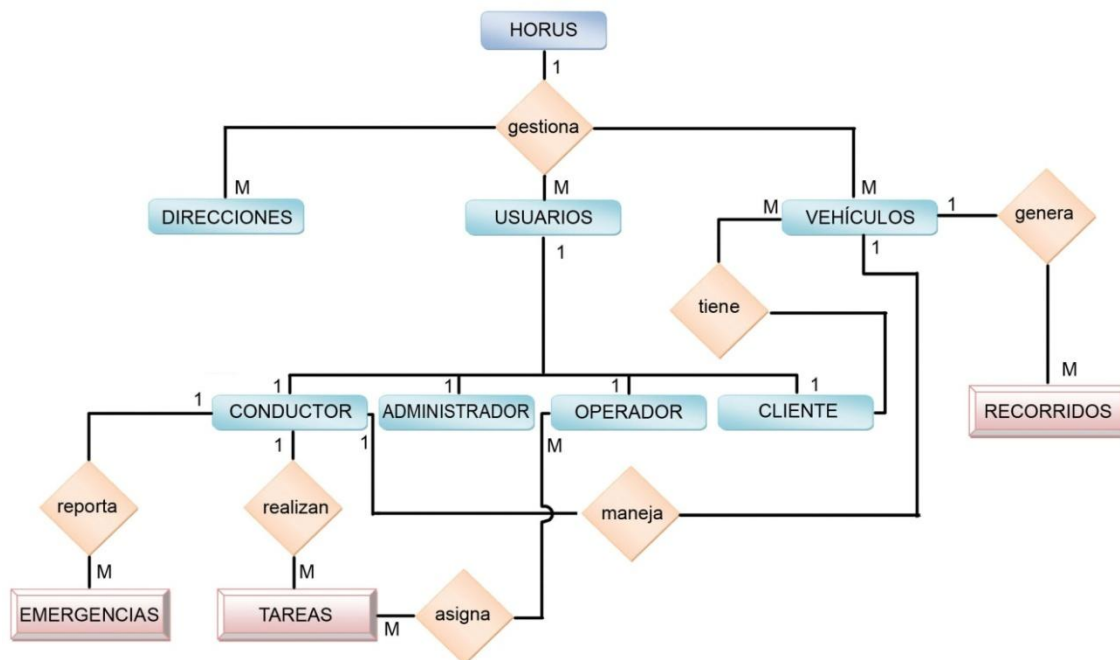


Figura 3.36. Modelo Entidad/Relación para la base de datos implementada en HORUS.

En la sección A.3.6 del anexo A se describen los atributos e identificadores de las entidades que fueron implementadas en el DBMS y que físicamente representan en memoria una tabla donde se almacena la información.

3.4 PROTOCOLO IMPLEMENTADO PARA LA COMUNICACIÓN DE DATOS

Una vez definido el diseño y funcionamiento de los bloques que componen a HORUS, y con la certeza de que es posible comunicarlos entre sí a través de radios convencionales de dos vías; es necesario implementar un protocolo con el fin de garantizar que los datos enviados desde el bloque unidad móvil van a ser recibidos e interpretados correctamente

⁴⁵ Es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones en éstas.

por el bloque estación control para procesar esta información y desplegarla a través de los servicios que ofrece el sistema.

En la figura 3.37 se muestra un diagrama donde se representa la estructura de la trama diseñada e implementada para garantizar el intercambio de información entre la Unidad Móvil y el Servidor Central, a través de los radios convencionales de dos vías y la Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC.

0	1	2	3	4	5	6	7
Preámbulo	ID Origen/Destino	:	Tipo de Solicitud/Respuesta	>	Resultado /Información	+	Verificación de Trama (<i>Cheksum</i>)
(16 bits)	(24 bits)	(8 bits)	(16 bits)	(8 bits)	(Tamaño sin restricción)	(8 bits)	(16 bits)

Figura 3.37. Estructura de las tramas implementadas en el protocolo de HORUS para la transmisión de datos.

La trama está compuesta por 7 campos, de los cuales los número 2, 4 y 6 tienen un tamaño fijo de 8 bits que representan un carácter en el Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información (ASCII⁴⁶, *American Standard Code for Information Interchange*) implementado como separador entre los campos que contienen la carga útil y los datos de control. Los campos 1, 3 y 5 son utilizados para identificar el origen o destino de la trama; el tipo de respuesta o tipo de solicitud realizada entre el servidor central, la UCCA - EC o la unidad móvil; y la información correspondiente a las solicitudes o respuestas, respectivamente. Finalmente el campo número 7 de la trama transporta los datos utilizados para realizar control de errores en la transmisión.⁴⁷

La información que transporta esta trama, depende de los componentes del sistema que se estén comunicando entre sí; es decir, los tipos de solicitud y respuesta al igual que la información asociada son diferentes dependiendo del origen y el destino de la misma. Una trama puede ser transmitida desde la Unidad Móvil hasta la Unidad de Control Conmutación y Acondicionamiento EC y viceversa, o desde la Unidad de Control Conmutación y Acondicionamiento del bloque estación control hasta el Servidor Central y viceversa; lo cual convierte a la Unidad de Control Conmutación y Acondicionamiento EC, en una especie de repetidor entre la Unidad Móvil y el Servidor Central.

A continuación se describe la posible información a transportar en cada campo dependiendo del sentido de la comunicación; sin embargo, es necesario mencionar ciertos parámetros que son fijos y que no dependen del sentido de transmisión:

⁴⁶ Es un código de caracteres basado en el alfabeto latino tal como se usa en inglés moderno y en otras lenguas occidentales.

⁴⁷ En la sección A.3.7 del anexo A se realiza una descripción mas detallada del funcionamiento del protocolo de HORUS.

- El campo número 0 (Preámbulo) contiene los bits de sincronización que utiliza el receptor para identificar el inicio de la trama. El preámbulo que HORUS utiliza está definido por una secuencia de inicio de 8 unos consecutivos (11111111) y de una secuencia de identificación de trama compuesta por tres ceros, un uno, tres ceros y un uno (00010001). La secuencia de inicio se utiliza para reconocer el inicio de la secuencia de identificación de trama; cuya estructura se definió considerando que no genera ninguna violación según el formato de codificación HDB3 y tampoco representa ningún carácter del código ASCII, lo cual disminuye la probabilidad de que se generen errores cuando el receptor interpreta los bits de este campo.
- El campo número 1 (ID Origen/Destino) tiene un tamaño de 3 bytes; cada uno interpretado como un carácter ASCII, que identifican el origen o el destino de la trama. En el caso de HORUS se utiliza un valor numérico de tres cifras correspondiente al ID del vehículo. El valor BRC (*Broadcast*), identifica un mensaje que se envía a todos los vehículos. El valor CTR (central) representa un mensaje dirigido al Servidor Central proveniente de la UCCA-EC o viceversa. La información de este campo no puede contener ningún carácter que represente un símbolo; únicamente se admiten números y letras en representación ASCII. No hay distinción entre mayúsculas o minúsculas.
- El campo número 3 (Tipo de Solicitud/Respuesta), tiene un tamaño de 2 bytes, donde cada uno es un carácter ASCII. Sólo admite valores alfabéticos, sin distinción de mayúsculas y minúsculas.
- No está permitido que el símbolo “+” sea utilizado en el campo número 5 (Resultado/Información) ya que se generarían inconvenientes al tratar de calcular el *checksum*, considerado como el parámetro de verificación de trama. Su tamaño no está limitado, sin embargo, la probabilidad de pérdida de esta información durante el proceso de transmisión se incrementa proporcionalmente con el tamaño de este campo.
- El campo número 7 (Verificación de trama), se obtiene al realizar la operación XOR⁴⁸ entre todos los bytes incluidos en la trama desde el inicio hasta el separador “+”, incluyéndolo; es decir, desde el campo 1 hasta el 6. El resultado tiene un tamaño de un byte, el cual es separado en dos *nibbles*⁴⁹, donde cada uno representa un número entre 0 y 15 en binario, que para ser expresados en hexadecimal mediante caracteres ASCII, del 0 al 9, o de la A a la F, requieren de 2 bytes.

Este procedimiento se realiza con el fin de detectar errores. Al recibirse una trama se calcula el *checksum* y se compara con el *checksum* proveniente en la trama, si son iguales, la trama se ha recibido correctamente y en caso contrario es necesario

⁴⁸ Hace referencia a la compuerta lógica O-exclusiva.

⁴⁹ Se denomina *nibble* al conjunto de cuatro dígitos binarios (bits).

solicitar que la retransmitan.

- Existen tramas básicas de control en las que el campo “Resultado/Información” no se tiene en cuenta, por lo que tampoco hace falta la presencia del separador “>”. Luego se tiene el separador “+” y el *checksum* calculado.

3.4.1 Comunicación Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC - Unidad Móvil

Cuando la comunicación se realiza en este sentido el campo número 3 corresponde al tipo de solicitud que la UCCA-EC realiza a la Unidad Móvil o la respuesta que le envía como resultado de solicitudes de la Unidad Móvil. Los tipos de solicitudes enviados por la UCCA-EC son:

- **MS:** enviar mensaje. (*unicast* si el campo número 1 corresponde al ID de un móvil o *broadcast* si corresponde a los caracteres “BRC”).
- **CO:** solicitar coordenadas a móvil. (exclusivamente *unicast*)
- **SC (Server Connected):** notificación *broadcast* de que el servidor está conectado
- **SU (Server Unreached):** notificación *broadcast* de que el servidor está desconectado.
- **NR: (New Request):** pregunta a los móviles si hay alguna solicitud (*broadcast*).

En este sentido el campo número 5 (Resultado/Información) contiene la información que se requiere enviar. Este campo solamente es usado por la solicitud “MS” y en ella se encuentra el mensaje que se desea enviar.

Las posibles respuestas a peticiones provenientes de la Unidad Móvil son:

- **RP (Respuesta Pánico):** respuesta a la activación del botón de pánico.
- **RI (Response In):** respuesta a solicitud de validación del nombre de la cuenta de usuario (*login*) del conductor.
- **RO (Response Out):** respuesta a solicitud de *logout* o salida del sistema.
- **RN (Response Net):** respuesta a solicitud del móvil para ingresar a la red.

Si la trama es una respuesta a una solicitud del móvil, el campo número 5 (Resultado/Información) contendrá el resultado de la solicitud, expresado como una cadena de caracteres. Los valores que puede tomar son:

- **OK:** solicitud atendida satisfactoriamente.
- **ER:** error en el procesamiento de la solicitud.
- **NI:** conductor o vehículo no identificado.

3.4.2 Comunicación Unidad Móvil - Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento

Cuando la comunicación se realiza en este sentido el campo número 3 corresponde al tipo de solicitud que la Unidad Móvil puede realizar a la UCCA-EC para que las retransmita al Servidor Central, las cuales se generan como respuesta cuando la Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento pregunta si algún móvil tiene alguna solicitud. Los tipos de peticiones a ser enviadas por la Unidad Móvil son:

- **PA:** enviar mensaje de pánico.
- **LI (Login):** inicio de sesión del conductor.
- **LO (Logout):** cierre de sesión del conductor.
- **IN (In Net):** solicitud de ingreso del móvil a la red.

Los tipos de respuestas a solicitudes de la Unidad Móvil por la UCCA-EC:

- **RM (Response Message):** confirmación de la llegada de un mensaje.
- **RX:** respuesta a solicitud de coordenadas.

Cuando el campo de información contiene una lista de parámetros, éstos son separados mediante el símbolo “/”, de manera que no se permite que ninguno de los parámetros contenga dicho símbolo y en general ningún carácter del campo de información debe contener el símbolo “+”, debido a que se generarían problemas al tratar de calcular el *checksum*.

La solicitud “LI” hace uso de este campo de manera que lo divide en dos parámetros; el *login* y el *password* del conductor. Todos los mensaje de confirmación usan este campo para informar el resultado de la solicitud proveniente de la central, pero el comando “RX” además introduce una lista de parámetros que son: longitud, latitud, hemisferios, velocidad, hora y fecha, los cuales también están separados por el símbolo “/”. En la figura 3.38 se muestra un ejemplo de una trama enviada por la Unidad Móvil como respuesta a una solicitud “CO”.



Figura 3.38. Ejemplo de implementación de una trama en HORUS.

3.4.3 Comunicación Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento – Servidor Central

Se reservó una dirección CTR para diferenciar los mensajes que van dirigidos al servidor central y que son enviados de manera autónoma por la UCCA-EC. Estos mensajes se utilizan para notificar eventos importantes tales como la detección de un móvil nuevo en el área de cobertura o la pérdida del contacto con un móvil.

En circunstancias normales la UCCA-EC actúa como repetidor entre los móviles y el servidor, simplemente retransmitiendo las tramas que los móviles dirigen al servidor o viceversa.

Periódicamente la UCCA-EC pregunta al servidor si tiene solicitudes nuevas para los móviles. El servidor no envía ninguna trama hasta que se le pregunte si tiene solicitudes nuevas o le realicen solicitudes de los móviles y éste responda a ellas.

Los mensajes enviados por los móviles hacia el servidor y retransmitidos por la Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC son:

- **IN:** solicitud de ingreso a la red del móvil.
- **LI:** solicitud del conductor para ingresar al sistema (*login*).
- **LO:** solicitud del conductor para salir del sistema (*logout*).
- **PA:** solicitud de pánico.
- **RX:** coordenadas del móvil
- **RM:** confirmación de recepción de los mensajes *unicast* enviados por el servidor.
- **HE (Hello):** comando para detectar el estado del servidor (activo o inactivo).

Los mensajes enviados por la Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC de manera autónoma para informar anomalías al servidor son:

- **MU (Mobile Unreachable):** se ha perdido conexión con un móvil.

Los mensajes enviados por parte de Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC que hacen uso del campo número 5 (Información/Resultado) son RX, LI, RM y PA. Los mensajes RX y PA, además introducen información relacionada con la posición del vehículo, como latitud, longitud, velocidad, hora, fecha y rumbo de navegación.

3.4.4 Comunicación Servidor Central - Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento

Los mensajes enviados por el Servidor Central de manera autónoma, sin solicitud de la Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC son:

- **MS:** enviar mensaje.
- **CO:** solicitar coordenadas de móvil.

Los mensajes enviados por el Servidor Central como respuesta a las solicitudes de la Unidad de Control, Conmutación y Acondicionamiento EC son:

- **RI:** respuesta a solicitud de ingreso a la red por parte del conductor.
- **RP:** confirmación de llegada del aviso de pánico.
- **RO:** respuesta a cierre de sesión
- **RM:** confirmación de llegada para los mensajes *unicast* enviados por el móvil.
- **RN:** respuesta a solicitud de ingreso a la red del móvil.
- **RH:** respuesta al mensaje HE (*Hello*).

4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se describen las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, usados para determinar el funcionamiento del sistema y caracterizarlo de manera general.

4.1 CÁLCULO DE LA TASA DE ERROR DE BIT

4.1.1 Descripción de la Aplicación Desarrollada y sus Interfaces

Para realizar las pruebas de medición de la tasa de error del sistema, se creó una aplicación que permite enviar secuencias de bits desde el vehículo hasta la central de despacho a diferentes velocidades de transmisión.

Se implementaron dos secuencias a ser transmitidas en la unidad móvil:

Secuencia 1: Transmisión de 10000 ceros.⁵⁰

Secuencia 2: Transmisión de 10000 unos.

Debido a que se utiliza codificación HDB3, la secuencia 1 se considera como la menos favorable ya que la transmisión de ceros consecutivos introduce constantes violaciones, lo que genera la presencia de los tres estados de HDB3 (marca positiva, espacio y marca negativa) y existe mayor probabilidad de perder sincronización.

Por otra parte, la secuencia 2 se considera una transmisión en condiciones más favorables, debido a que al enviar una ráfaga constante de unos no se necesita la introducción de violaciones, la polaridad de los unos es alternada y no existen estados cero. Este cambio constante de marca positiva a negativa y viceversa, es más fácil de detectar, lo que permite mantener una buena sincronización entre transmisor y receptor.

La aplicación software desarrollada para esta prueba está dividida en dos partes: en la unidad móvil se encuentra una aplicación en un microcontrolador, desde la cual se configuran los parámetros de transmisión de la información. En la parte de la estación de

⁵⁰ Se configuró la transmisión de 10000 bits debido a que es necesario realizar el envío de una gran cantidad de bits para que las medidas tomadas sean estadísticamente válidas para realizar el cálculo de la BER y por lo tanto obtener el desempeño del sistema.

control se tiene un computador conectado a través de puerto serial con la tarjeta de la unidad de control, conmutación y acondicionamiento de la estación central, el cual cuenta con la aplicación software de medición de errores desarrollada en Java. En la figura 4.1 se muestra la interfaz de usuario en el lado de la estación de control.

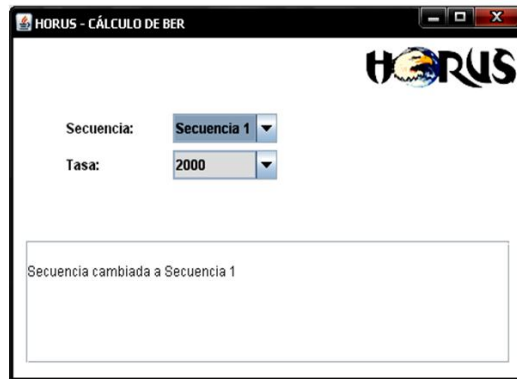


Figura 4.1. Interfaz de usuario en la estación de control para el cálculo de la tasa de errores de bit (BER).

La interfaz provee dos opciones:

- Cambiar la secuencia de datos a recibir: Secuencia 1 o Secuencia 2.
- Cambiar la velocidad de transmisión de datos a la que se va a recibir: 250, 400, 800, 1500, 2000 y 2750 bps.

Estos parámetros deben ser igualmente configurados entre transmisor (unidad móvil) y receptor (estación de control).

De igual forma, la unidad móvil presenta una interfaz al usuario a través de la cual se pueden modificar los parámetros de transmisión por medio de un menú que presenta las opciones descritas a continuación:

1. Iniciar Transmisión
2. Seleccionar Tasa
 - Tasa: 2000
← Seleccionar Tasa: 2000 →
3. Seleccionar Secuencia
 - Secuencia: 1
← Secuencia 1 →

En la opción 2, se encuentran valores de velocidades de transmisión de datos de 250, 400, 800, 1500, 2000 y 2750 bps.

En la opción 3, se puede seleccionar la secuencia 1 o la secuencia 2.

Para desplazarse a través del menú se utilizan los botones “A” y “B” para moverse hacia izquierda o derecha respectivamente. Con el botón “★” se ingresa a las opciones y se seleccionan los valores deseados. El botón “#” es para retroceder al menú general. La figura 4.2 muestra la interfaz hardware de usuario de la unidad móvil.



Figura 4.2. Interfaz hardware de usuario del prototipo de pruebas Unidad Móvil.

4.1.2 Procedimiento y Resultados

La estación de control se instaló en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, y se hizo uso de una antena Yagi. La figura 4.3 muestra la antena y su patrón de radiación.

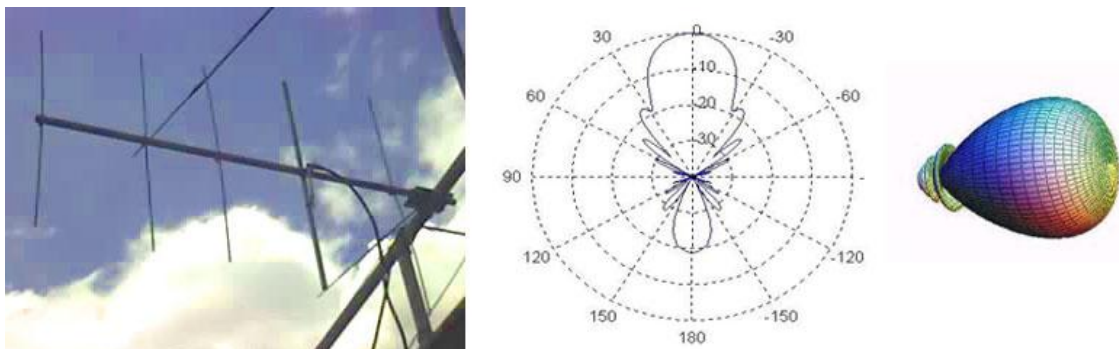


Figura 4.3. Antena Yagi y su patrón de radiación.

La antena se conectó a uno de los radios Motorola PRO3100, el cual se conectó a la tarjeta de UCCA-EC, la cual a su vez se conectó al computador. En la figura 4.4 se muestra el radio móvil, el computador y la tarjeta de UCCA-EC de la estación de control.



Figura 4.4. Radio móvil, computador y tarjeta de UCCA-EC en la estación de control.

Por otra parte, en un vehículo se instaló la unidad móvil. El radio Motorola utilizó una antena omnidireccional marca Hustler de $\frac{1}{4}$ de onda con conector PL259 y adaptador a MiniUHF. En la figura 4.5 se muestra el radio móvil, la unidad móvil y la antena Hustler ubicados en el vehículo.



Figura 4.5. Radio móvil, unidad móvil y antena Hustler.

Para realizar las mediciones, se definieron 5 locaciones: parqueadero FIET, oficina de tránsito de Popayán (barrio Pomona), estadio Ciro López, entrada al barrio Villa del Viento y SENA sede norte. Estos lugares se definieron de tal forma que se encontraran ubicados en una posición favorable respecto al patrón de radiación directivo de la antena.

En cada locación se realizó la transmisión de las dos secuencias de bits, cada una a las 6 velocidades definidas en el software. De igual forma, se midió el valor del Indicador de Intensidad de de la Señal Recibida (RSSI, *Receive Signal Strength Indication*) para cada locación⁵¹. Para cada secuencia se tomaron tres medidas, las cuales se promediaron y se usaron para calcular la tasa de error de bit (BER, *Bit Error Rate*).

La figura 4.6 muestra la interfaz de usuario de la estación de control, en la cual se visualiza la secuencia 1 seleccionada y la velocidad de transmisión de datos configurada a 1500 bps en recepción. Al fondo, se observa la interfaz del software Free Serial Port Monitor⁵², que permite visualizar parte de los bits que llegan al puerto serial del computador.

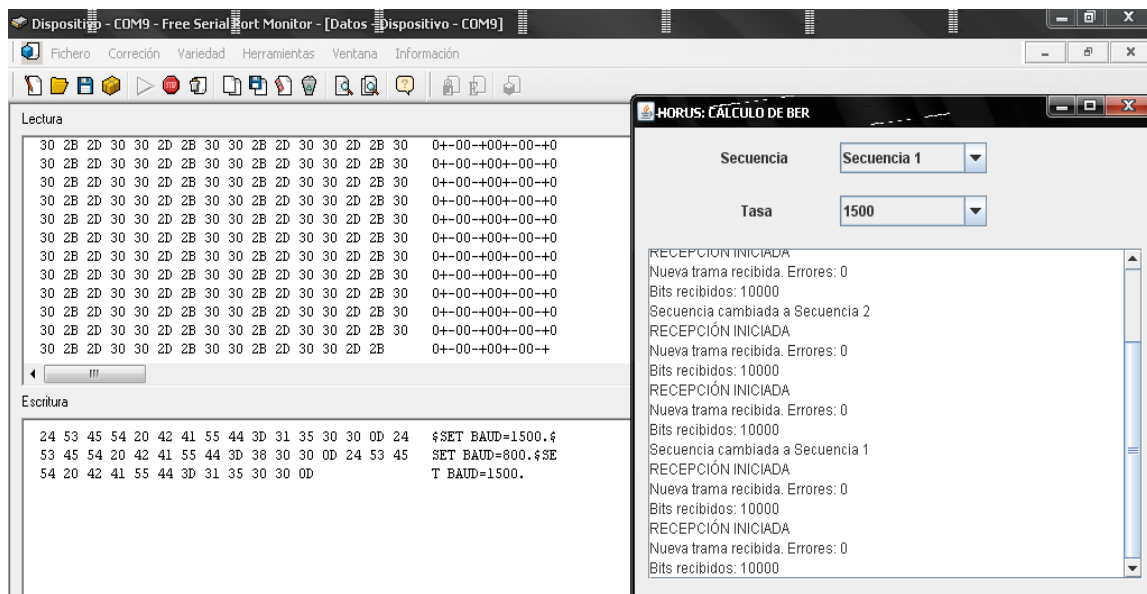


Figura 4.6. Recepción de datos con secuencia 1 y velocidad de transmisión 1500 bps.

La figura 4.7 muestra la configuración de secuencia 2 y velocidad de transmisión de datos de 1500 bps. En el software Free Serial Port Monitor se puede ver la ráfaga de “unos” consecutivos llegando al puerto serial, los cuales llegan alternando en polaridad debido a las características de la codificación HDB3. La alternancia de polaridad se puede

⁵¹ En la sección A.4.1 del anexo A se describe el proceso seguido para calcular la potencia de recepción en base al voltaje del pin RSSI del radio Motorola PRO3100.

⁵² <http://www.serial-port-monitor.com/>

ver al verificar que en el puerto serial se tiene “+” y “-” de manera consecutiva. El “+” representa a los “unos” que llegan con nivel +250mV y el “-” aquellos que tienen un nivel de voltaje de -250mV.

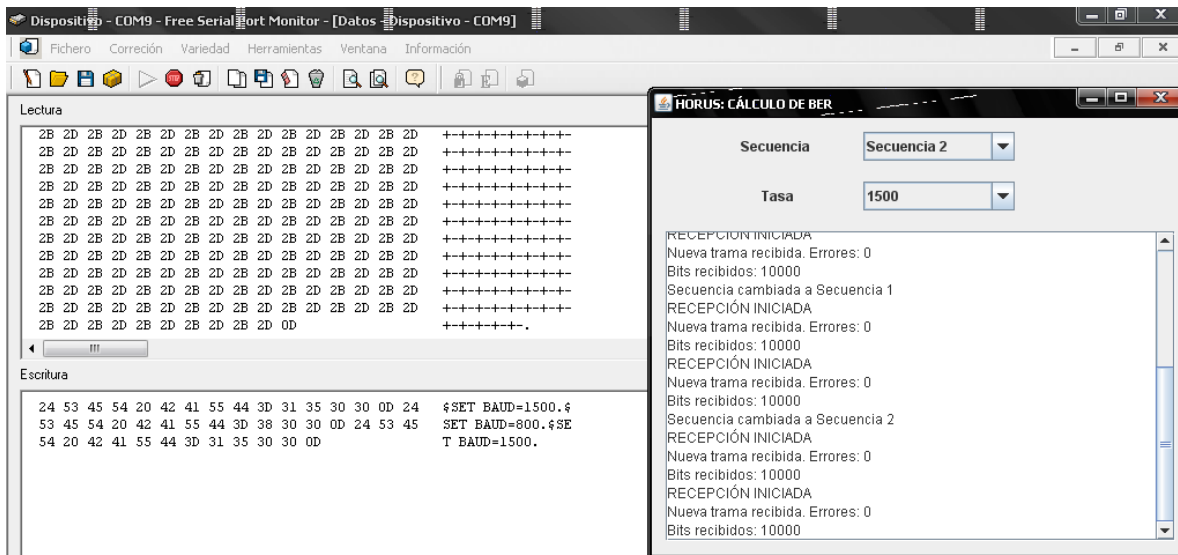


Figura 4.7. Recepción de datos con secuencia 2 y velocidad de transmisión 1500 bps.

La tabla 4.1 muestra la compilación de los datos recolectados, donde se muestra el número de bits errados a diferentes velocidades de transmisión de datos en cada locación mencionada, al transmitir 10000 bits.

LOCACION	VELOCIDAD DE TRANSMISION DE DATOS (bps)																																																																																																																																																																																																	
	250		400		800		1500		2000		2750																																																																																																																																																																																							
	Errores	BER	Errores	BER	Errores	BER	Errores	BER	Errores	BER	Errores	BER																																																																																																																																																																																						
Parqueadero FJET													Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	TRÁNSITO													Sec.1	0-8-0	0.000266	5-0-0	0.001666	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-3-0	0.0001	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	1-0-0	0.000033	ESTADIO													Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	VILLA DEL VIENTO													Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-3-0	0.0001	0-0-0	0	0-0-0	0	SENA													Sec.1	0-1-3	0.000133	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-5-0	0.0001666	0-0-0	0	0-0-0	0
Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																																																																																						
Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																																																																																						
TRÁNSITO													Sec.1	0-8-0	0.000266	5-0-0	0.001666	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-3-0	0.0001	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	1-0-0	0.000033	ESTADIO													Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	VILLA DEL VIENTO													Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-3-0	0.0001	0-0-0	0	0-0-0	0	SENA													Sec.1	0-1-3	0.000133	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-5-0	0.0001666	0-0-0	0	0-0-0	0																																							
Sec.1	0-8-0	0.000266	5-0-0	0.001666	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-3-0	0.0001																																																																																																																																																																																						
Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	1-0-0	0.000033																																																																																																																																																																																						
ESTADIO													Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	VILLA DEL VIENTO													Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-3-0	0.0001	0-0-0	0	0-0-0	0	SENA													Sec.1	0-1-3	0.000133	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-5-0	0.0001666	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																														
Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																																																																																						
Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																																																																																						
VILLA DEL VIENTO													Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-3-0	0.0001	0-0-0	0	0-0-0	0	SENA													Sec.1	0-1-3	0.000133	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-5-0	0.0001666	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																					
Sec.1	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																																																																																						
Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-3-0	0.0001	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																																																																																						
SENA													Sec.1	0-1-3	0.000133	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-5-0	0.0001666	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																																																												
Sec.1	0-1-3	0.000133	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																																																																																						
Sec.2	0-0-0	0	0-0-0	0	0-0-0	0	0-5-0	0.0001666	0-0-0	0	0-0-0	0																																																																																																																																																																																						

Tabla 4.1. Bits errados al transmitir 10000 bits a diferentes velocidades de transmisión de datos desde cinco locaciones diferentes.

La estación de control se ubicó en las siguientes coordenadas geográficas:

02° 26' 47.6" N
076° 35' 55.7" W

En la tabla 4.2 se muestran las coordenadas de las diferentes locaciones y la distancia que hay entre ellas y la estación de control. Para obtener la posición de las tres primeras locaciones se utilizó un GPS modelo Garmín eTrex Legend, debido a que el mapa de *Google Maps* de este sector de la ciudad de Popayán no posee suficiente resolución para localizar estos puntos específicos. El cálculo de las distancias lineales entre los lugares mencionados en la tabla y la estación central se realiza implementado la fórmula de Haversine⁵³ en un programa sencillo desarrollado en lenguaje Java, al que se denominó "DistanciaHaversine.jar"

Locación	Coordenadas Geográficas	Distancia a Estación Central (m)
Parqueadero FIET	02° 26' 49.9" N 076° 35' 52.8" W	114.54
Oficina de Tránsito	02° 27' 04.8" N 076° 35' 23.9" W	1116.04
Estadio Ciro López	02° 27' 19.9" N 076° 35' 27.2" W	1330.16
Villa del Viento	02° 28' 43.10" N 076° 34' 33.85" W	4371.09
SENA (Sede Norte)	02° 28' 58.23" N 76° 33' 45.26" W	5699.82

Tabla 4.1. Distancia entre locaciones de prueba y estación de control.

En la tabla 4.3 se muestra la relación entre el voltaje del pin RSSI del radio Motorola PRO3100 y la potencia de recepción para cada locación⁵⁴.

Locación	RSSI Señal (V)	Potencia Señal Rx (dBm)	Potencia Señal Rx (mW)
Parqueadero FIET	2.364	-50.0222	9.94901×10^{-6}
Oficina de Tránsito	2.346	-52.0031	6.30507×10^{-6}
Estadio Ciro López	2.343	-52.05	6.23735×10^{-6}
Villa del viento	2.104	-69.9272	1.0169×10^{-7}
SENA (Sede Norte)	2.049	-70.2451	9.45127×10^{-8}

Tabla 4.2. Relación entre voltaje RSSI y potencia de recepción.

En la tabla 4.1 puede verse que el número de errores presentados en las diferentes locaciones es en su mayoría cero, y muy pequeño en unos cuantos casos. A pesar de incrementar la distancia entre estación de control y unidad móvil, el número de errores no

⁵³ En la sección A.4.2 del anexo A se explica este concepto.

⁵⁴ En la sección A.4.1 del anexo A se explica el procedimiento seguido para hallar esta relación.

creció significativamente, lo que indica que ubicar la unidad móvil en dirección al lóbulo principal de la antena es muy ventajoso para la comunicación. Tomando los valores de distancia de la tabla 4.2 y los de potencia de la tabla 4.3 es posible visualizar el decremento de potencia de recepción a medida que aumenta la distancia de separación de los radios.

La figura 4.8 muestra la variación de la potencia de recepción con respecto a la distancia de separación de los radios.

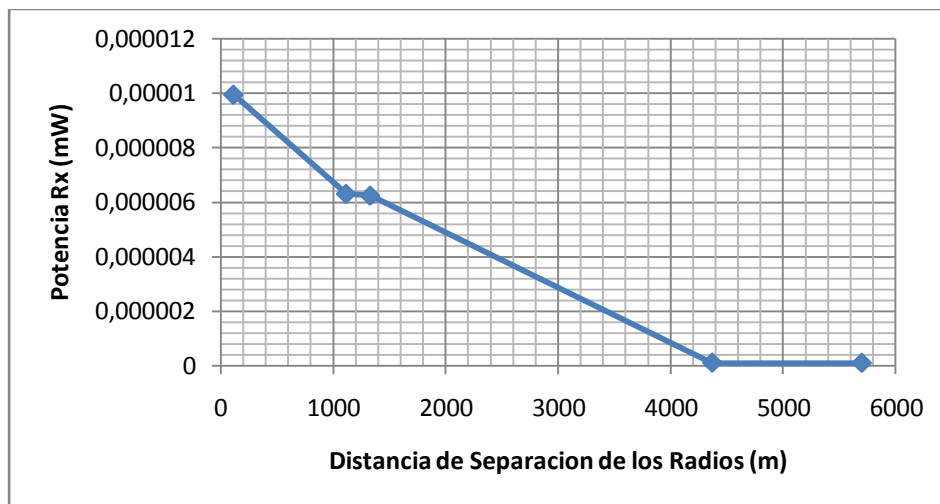


Figura 4.8. Potencia de recepción vs. Distancia de separación de los radios Motorola PRO3100.

Para las cuatro locaciones de esta prueba se calculó la relación E_b/N_0 ⁵⁵. La tabla 4.4 muestra la relación E_b/N_0 para cada locación.

Locación	E_b/N_0 (dB)
Parqueadero FIET	83.9676
Oficina de Tránsito	81.9866
Estadio Ciro López	81.9398
Villa del viento	64.0325
SENA (Sede Norte)	63.7447

Tabla 4.3. Relación E_b/N_0 para las locaciones de la prueba de vehículo con unidad móvil en dirección al lóbulo principal de antena de estación de control.

Asimismo, se realizó una prueba de errores de bits utilizando una antena omnidireccional marca Motorola con ganancia de 3dB en la estación de control. En la figura 4.9 se muestra la antena usada para esta prueba.

⁵⁵ En la sección A.4.1.1 del anexo A se describe el procedimiento seguido para calcular E_b/N_0 .

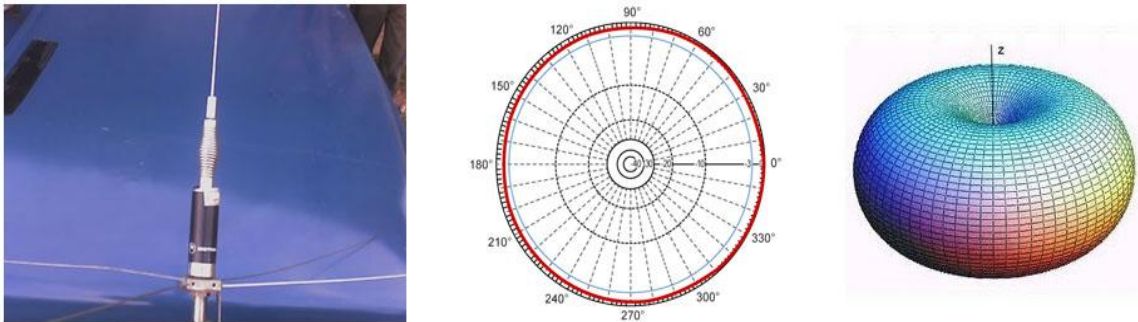


Figura 4.9. Antena Omnidireccional Motorola usada en la estación central y patrón de radiación omnidireccional.

La antena omnidireccional se ubicó en el barrio Bello Horizonte debido a que en *Google Maps* se tiene una buena resolución de la parte norte de la ciudad de Popayán. En este caso los errores de bit fueron cero para todas las velocidades de transmisión y en ambas secuencias. En ocasiones muy particulares se midieron errores muy pequeños, pero menores a los presentados en la tabla 4.1, por lo que fueron los datos de dicha tabla los usados para realizar el cálculo de la BER.

Con el objeto de hallar valores de BER bajo condiciones menos favorables para la propagación de la señal, se estableció nuevamente la estación central en la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Cauca, con el fin de utilizar la antena directiva. Se buscaron locaciones que estuvieran por fuera del lóbulo principal de radiación de la antena y se realizaron otras mediciones. En este caso, incluso la comunicación por voz a través de los radios se dificultó mucho, debido al ruido y altas interferencias en el canal de comunicaciones, por lo que sólo se realizaron las pruebas utilizando la secuencia 1 (ceros consecutivos) y velocidad de transmisión de datos de 2000 bps. Esta configuración fue escogida debido a que esta secuencia es más propensa a generar errores por efectos de desincronización y la velocidad de transmisión de datos fue la definida para el funcionamiento del sistema.

Se seleccionó una velocidad de transmisión de datos de 2000 bps buscando que el sistema trabajara de manera confiable y a una buena velocidad. Teóricamente se podía configurar hasta 3000 bps, pero a mayor velocidad de transmisión de datos mayor probabilidad de que se presenten errores. Asimismo, una velocidad de transmisión de datos baja provoca que el radio transmita durante un tiempo más largo, lo cual no se desea dado que los radios tienen un límite de tiempo de transmisión de un minuto.

En esta prueba se obtuvieron errores de bits bastante grandes y en muchas ocasiones no se lograron recibir los 10000 bits transmitidos. En la tabla 4.5 se muestran los datos recolectados en esta prueba.

Al situar la unidad móvil fuera del área de cobertura del lóbulo principal de la antena de la estación de control se obtuvieron potencias de recepción bastante bajas, lo cual produjo como resultado tasas de error de bit del orden del 50%.

Locación	Bits Rx	Bits Perdidos ⁵⁶	Bits Errados	BER ⁵⁷	RSSI (V)	Potencia Rx (dBm)	Potencia Rx (mW)
Parque Benito Juárez					1.002	-93.666	4.29932x10 ⁻¹⁰
Sec. 1	8632	1368	4572	0.52965709			
Sec. 1	1749	8251	5	0.002858776			
Sec. 1	10000	0	4972	0.4972			
Sec. 1	10000	0	4302	0.4302			
Sec. 1	10000	0	5656	0.5656			
Sec. 1	10000	0	4452	0.4452			
			BER Promedio:	0.411785978			
Barrio Las Américas					1.034	-91.838	6.54938x10 ⁻¹⁰
Sec. 1	1518	8482	844	0.55599473			
Sec. 1	1969	8031	1301	0.660741493			
Sec. 1	693	9307	2	0.002886002			
Sec. 1	1594	8406	763	0.478670013			
Sec. 1	10000	0	4108	0.4108			
Sec. 1	10000	0	5204	0.5204			
Sec. 1	1448	8552	328	0.226519337			
Sec. 1	2796	7204	1167	0.417381974			
Sec. 1	233	9767	1	0.004291845			
Sec. 1	10000	0	495	0.0495			
			BER Promedio:	0.332708324			
ISS Sede Villamarista					1.261	-91.271	7.46277x10 ⁻¹⁰
Sec. 1	10000	0	3457	0.3457			
Sec. 1	10000	0	2458	0.2458			
Sec. 1	10000	0	3538	0.3538			
Sec. 1	10000	0	2634	0.2634			
Sec. 1	10000	0	3107	0.3107			
Sec. 1	10000	0	5650	0.565			
Sec. 1	10000	0	769	0.0769			
			BER Promedio:	0.308757143			

Tabla 4.4. BER en condiciones críticas, vehículo con unidad móvil alejado de lóbulo principal de antena de estación de control.

En la figura 4.10 se muestra la BER en una escala logarítmica, donde se han ubicado los valores de BER promedio de la tabla 4.4 y se observa la relación inversa que existe con la

⁵⁶ Esta columna muestra la diferencia entre los 10000 bits programados para transmitirse inicialmente y los que realmente se recibieron.

⁵⁷ El cálculo de esta BER se realizó utilizando el número de bits recibidos realmente (columna Bits Rx), y no los 10000 bits iniciales.

potencia de recepción de la señal.

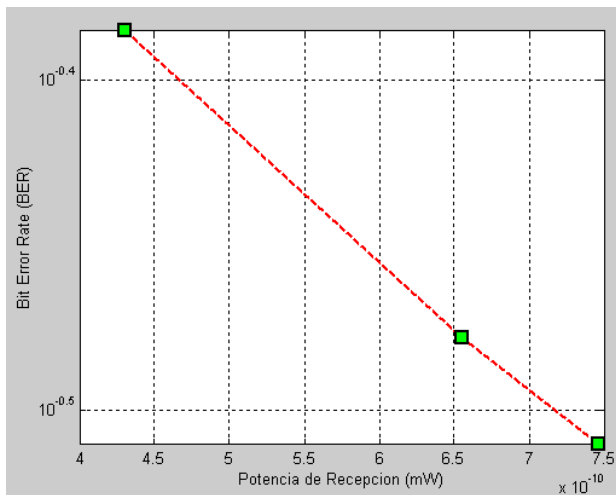


Figura 4.10. BER vs. potencia de recepción.

Para las tres locaciones de esta prueba se calculó la relación E_b/N_0 . La tabla 4.6 muestra la relación E_b/N_0 para cada locación.

Locación	E_b/N_0 (dB)
Parque Benito Juárez	40.324
Barrio las Américas	42.152
ISS Sede Villamarista	42.719

Tabla 4.5. Relación E_b/N_0 para las locaciones de la prueba de vehículo con unidad móvil alejado del lóbulo principal de antena de estación de control.

La figura 4.11 muestra la relación entre el BER y E_b/N_0 para cada locación.

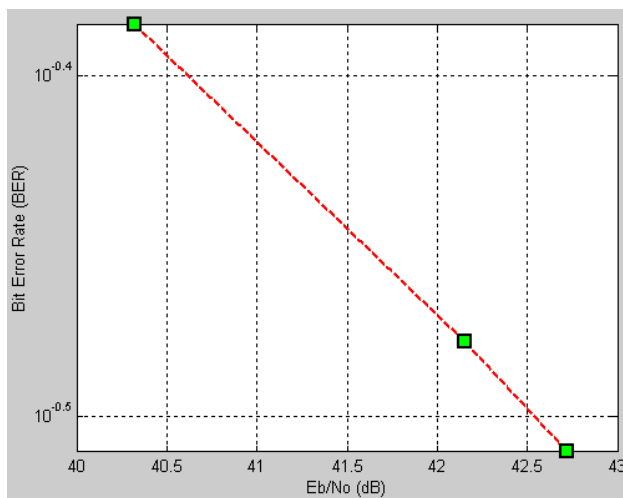


Figura 4.11. BER vs. E_b/N_0

Para una relación Eb/No grande se presentan menos errores, lo cual es deseado para el sistema. Diversos factores como la ganancia y tipo de las antenas, el acoplamiento de los elementos, distancia y valores de potencia afectan la transmisión de la información a través del sistema de comunicaciones inalámbrico.

La figura 4.12 muestra la interfaz de usuario de la estación de control donde se visualizan los altos errores obtenidos en tres transmisiones de datos correspondientes a esta prueba.

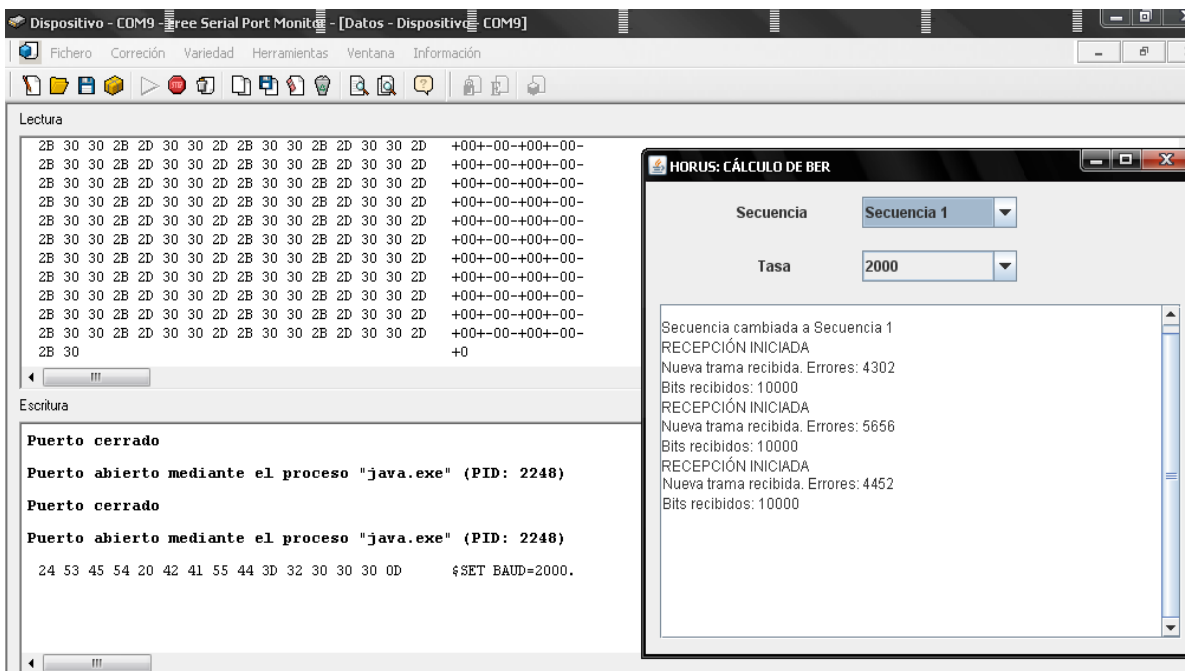


Figura 4.12. Recepción de datos con secuencia 1, velocidad de transmisión de datos de 2000 bps.

Los resultados de las pruebas anteriores se obtuvieron cuando el vehículo se encontraba en reposo, lo cual permitía generar una mejor comunicación entre éste y la estación de control. Sin embargo fue necesario también encontrar los valores de BER cuando el vehículo se encontraba en movimiento, ya que ésta es una característica básica del sistema HORUS.

Para determinar los errores en este caso, se desplazó al vehículo en tres rangos de velocidades diferentes: de 20 a 40, de 40 a 60 y de 60 a 80 kilómetros por hora. Para cada rango de velocidad se tomaron diez medidas de errores. Al igual que en la prueba anterior, se utilizó la secuencia 1 (ceros consecutivos) y la velocidad de transmisión de datos de 2000 bps.

En la tabla 4.7 se muestran los datos recolectados y la BER calculada para tres rangos de

velocidades de desplazamiento del móvil.

VELOCIDAD VEHÍCULO (Km/h)	ERRORES	PROMEDIO DE ERRORES	BER (%)
20 – 40	9, 7, 8, 14, 22, 7, 0, 1, 0, 0.	6.8	0.068
40 – 60	24, 1122, 1799, 52, 764, 128, 1329, 224, 953, 1015.	741	7.41
60 – 80	2777, 4972, 4629, 4950, 4972, 3703, 3458, 2436, 2544, 3548.	3798.9	37.989

Tabla 4.6. Bits errados recibidos en la estación de control cuando el vehículo se encuentra en movimiento.

A partir de la tabla 4.6 puede observar que a mayor velocidad de desplazamiento del vehículo se presentan mayores errores. En la figura 4.13 se muestra la interfaz de usuario de la estación de control donde se visualizan los errores presentados al transmitir cuando el vehículo se encuentra en el rango de 20 a 40 kilómetros por hora. La flecha amarilla indica uno de los errores capturados a través del software Free Serial Port Monitor, en este caso se detectó un estado cero, en lugar de la marca negativa enviada desde el transmisor.

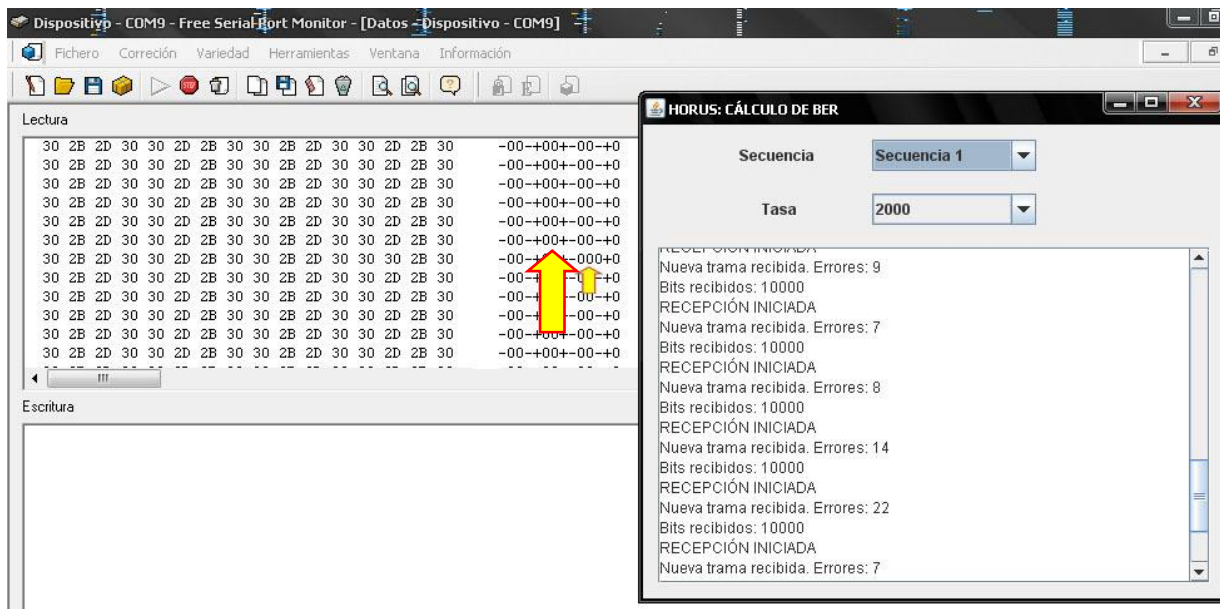


Figura 4.13. Recepción de datos con secuencia 1, velocidad de transmisión de datos de 2000 bps, con vehículo en movimiento a velocidad entre 20 y 40 Km/h.

4.2 DESEMPEÑO DE LAS APLICACIONES SOFTWARE DESARROLLADAS E IMPLEMENTADAS EN HORUS

Con base en los casos de usos esenciales mencionados en el capítulo 2 y cuya descripción detallada se especifica en la sección A.2.1 del anexo A, se definen a manera de requerimientos criterios de evaluación con el fin de generalizar el desempeño y funcionamiento del sistema a partir de las aplicaciones desarrolladas e implementadas en la arquitectura definida en el capítulo tres para el despliegue de los servicios de HORUS.

4.2.1. Descripción de los Criterios de Evaluación

En la tabla 4.8 se definen los criterios de evaluación y una breve descripción al respecto.

CRITERIO DE EVALUACIÓN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Restricción del acceso a los servicios de HORUS.	Validar el tipo de usuario para restringir los servicios ofrecidos por el sistema.
2	Interpretación adecuada de los datos de posicionamiento geográfico.	Obtener los datos de posicionamiento de la trama NMEA enviada por el GPS y manipularlos para desplegarlos en un mapa y en la unidad de despliegue UM.
3	Movilidad sobre el mapa de visualización.	Permitir que el usuario pueda desplazarse por el mapa con el fin de facilitarle la ubicación en el mismo.
4	Manipulación de las características del mapa.	Permitir que el usuario pueda cambiar el tipo de mapa y aumentar o disminuir su tamaño.
5	Visualización de la posición geográfica.	Ubicar en el mapa la posición geográfica de los vehículos a rastrear y/o a despachar.
6	Visualización del recorrido.	Ubicar en el mapa el recorrido realizado durante la última hora por los vehículos a rastrear.
7	Aplicación del criterio de distancia para el despacho vehicular.	Despachar un vehículo si además de reportarse como disponible, se encuentra más cerca del lugar donde proviene la solicitud de despacho.
8	Implementación de métodos de búsqueda y ubicación de los lugares que originan solicitudes para las tareas.	Permitir que el usuario pueda ubicar con facilidad en el mapa el lugar donde se origina la solicitud para realizar determinada tarea.
9	Comunicación entre operadores y conductores.	Brindar la posibilidad de comunicación entre operadores y conductores a partir de mensajes de texto enviados a través de los radios convencionales de dos vías que hacen parte del sistema.
10	Presentación adecuada de la información.	Desplegar de manera ordenada la mayor cantidad de información útil, cuando el usuario lo requiera.
11	Implementación de métodos de búsqueda de usuarios.	Permitir que el administrador pueda encontrar fácilmente la información asociada al usuario, sobre la cual se realizará modificaciones o consultas.

12	Implementación de procesos simples para gestionar la información asociada a los usuarios.	Implementar procesos simples para modificar o consultar información relacionada con los usuarios del sistema.
13	Implementación de métodos de búsqueda de tareas.	Permitir que el operador pueda encontrar fácilmente las tareas asignadas a los vehículos, con el fin de llevar un control sobre las mismas.
14	Implementación de procesos simples para gestionar las tareas asignadas a los vehículos.	Implementar procesos simples para modificar o consultar información relacionada con las tareas asignadas a los vehículos.
15	Notificación de emergencia en tiempo real y visualización de información asociada a la misma.	Permitir que las emergencias y la información asociada a éstas sean visibles en el mapa de manera automática, una vez hayan sido reportadas por las unidades móviles, a través del botón de pánico.
16	Identificación de errores durante el proceso de validación de usuarios.	Notificar a los usuarios cuando cometan errores durante el proceso de ingreso al sistema.
17	Identificación de errores de búsqueda y localización.	Notificar a los usuarios cuando cometan errores durante los procesos de localización y rastreo vehicular.
18	Identificación y notificación de errores en los procesos de búsqueda de usuarios.	Notificar a los administradores del sistema cuando se presenten errores durante los procesos de búsqueda de usuarios.
19	Identificación y notificación de errores en los procesos de gestión de la información asociada a los usuarios.	Notificar a los administradores cuando se presenten inconsistencias durante los procesos de consulta y modificación de información en la base de datos asociada a los usuarios del sistema.
20	Identificación y notificación de errores en los procesos de búsqueda de tareas.	Notificar a los operadores del sistema cuando se presenten errores durante los procesos de búsqueda de tareas.
21	Identificación y notificación de errores en los procesos de gestión de tareas.	Notificar a los operadores cuando se presenten inconsistencias durante los procesos de consulta y modificación de información en la base de datos asociada a las tareas asignadas a los vehículos del sistema.
22	Implementación de opciones de ayuda para los usuarios.	Brindar ayudas visuales que les faciliten a los usuarios utilizar las aplicaciones desarrolladas.

Tabla 4.7. Criterios de evaluación definidos para las aplicaciones desarrolladas en HORUS

4.2.2 Análisis y Resultados Obtenidos con Base en los Criterios de Evaluación

Una vez definidos los criterios de evaluación, se procede a analizar el funcionamiento de las aplicaciones desarrolladas, con el fin de emitir un concepto cualitativo relacionado con su desempeño. Aplicando los criterios de evaluación a los casos de uso esenciales, definidos en el capítulo 2, donde se realiza la descripción de HORUS; se obtienen los siguientes resultados.

- **Criterio de Evaluación 1:** este criterio se aplica a los casos de uso “Consultar Posición Geográfica”, “Consultar Información Asociada al Vehículo”, “Desplegar Recorrido”, “Despachar Vehículo”, “Gestionar Tareas” y “Gestionar Información HORUS”. Sin embargo, cabe resaltar que únicamente los tres primeros casos de uso mencionados, son iniciados por los clientes móviles y por lo tanto su implementación es diferente. Mediante el archivo “inicio.jsp”, definido en el paquete vista de la aplicación desarrollada para los usuarios web, se valida el tipo de usuario y los datos requeridos para permitir el ingreso de los usuarios al sistema; de esta forma se garantiza que los usuarios únicamente puedan acceder a los servicios y funcionalidades del sistema dependiendo de los permisos establecidos según el tipo de usuario. La figura 4.14 muestra la interfaz gráfica donde se validan los datos.
 - Usuarios tipo cliente: este tipo de usuario únicamente puede consultar la posición geográfica, graficar el recorrido o consultar la información asociada al vehículo que aparece registrado en su cuenta.
 - Usuarios tipo administrador: este tipo de usuario puede consultar la posición geográfica, graficar el recorrido y consultar la información asociada a cualquier vehículo registrado en el sistema; además tiene acceso a la interfaz de gestión de usuarios.
 - Usuarios tipo operador: este tipo de usuario puede consultar la posición geográfica, graficar el recorrido y consultar la información asociada a cualquier vehículo registrado en el sistema; además tiene acceso a la interfaz de gestión de tareas y a la interfaz diseñada para brindar el servicio de despacho vehicular.



Figura 4.14. Interfaz de validación para usuarios web.

Debido a que la aplicación móvil está diseñada únicamente para clientes del sistema, la validación de usuarios se realiza mediante la clase “inicioForm.java” definida en el paquete vista de la aplicación, por medio de la cual los datos ingresados por el cliente son

enviados hasta el servidor central para compararlos con la información de la base de datos y generar una respuesta que permita identificar desde la aplicación móvil si se debe o no permitir el ingreso de este usuario al sistema. De esta forma se garantiza que la información consultada corresponda únicamente a su cuenta de usuario. La figura 4.15 muestra la interfaz de validación para el cliente móvil.



Figura 4.15. Interfaz de validación para clientes móviles.

- **Criterio de Evaluación 2:** este criterio se aplica a los casos de uso “Consultar Posición Geográfica”, “Desplegar Recorrido” y “Despachar Vehículo”. Una vez los datos de posicionamiento son capturados en la unidad móvil y enviados al servidor central a través del protocolo de comunicación desarrollado para HORUS, el servidor obtiene las coordenadas geográficas de acuerdo con la sintaxis de la trama NMEA enviada por el GPS y las transforma al formato interpretado por *Google Maps* mediante los métodos desarrollados en la clase “HorusManager.java”.
- **Criterio de Evaluación 3:** este criterio se aplica a los casos de uso “Consultar Posición Geográfica”, “Desplegar Recorrido” y “Despachar Vehículo”. Al implementar los mapas de Google en la aplicación web mediante el archivo “googlemap.jsp” es posible utilizar componentes predefinidos de la API de *Google Maps*, como barras navegación para interactuar y desplazarse por el mapa según lo desee el usuario. La figura 4.16 muestra la barra de navegación implementada en *Google Maps*.



Figura 4.16. Barra de navegación implementada en los mapas de Google.

En el desarrollo de la aplicación para los clientes móviles, se programaron las teclas de navegación del dispositivo móvil (arriba, abajo, atrás y adelante) para desplazar la imagen

del mapa. La figura 4.17 muestra las teclas de navegación del dispositivo móvil.



Figura 4.17. Teclas de navegación del dispositivo móvil.

- **Criterio de Evaluación 4:** este criterio se aplica a los casos de uso “Consultar Posición Geográfica”, “Desplegar Recorrido” y “Despachar Vehículo”. Al implementar los mapas de Google en la aplicación web mediante el archivo “googlemap.jsp” es posible utilizar componentes predefinidos del API de *Google Maps*, como una barra de zoom para modificar el nivel de acercamiento del mapa y botones que brindan la posibilidad de seleccionar los diferentes tipos de mapa (satélite, híbrido y relieve). La figura 4.18 muestra la barra de selección para los tipos de mapa y la barra de zoom.



Figura 4.18. Tipos de mapa y barra de zoom para la aplicación web.

En el desarrollo de la aplicación para los clientes móviles, se programaron las teclas de acción sobre la pantalla del dispositivo (derecha e izquierda) para aumentar o disminuir el nivel de acercamiento sobre la imagen del mapa, y a partir de la clase “MenuForm.java” se le brinda a los clientes, la posibilidad de que seleccionen el tipo de mapa en el que desean visualizar la posición del vehículo. La figura 4.19 muestra las interfaces implementadas en el dispositivo móvil que permiten elegir el tipo de mapa y seleccionar el nivel de acercamiento en los mapas.



Figura 4.19. Tipos de mapa y opciones de zoom implementadas en la aplicación móvil.

- **Criterio de Evaluación 5:** este criterio se aplica a los casos de uso “Consultar Posición Geográfica”, y “Despachar Vehículo”. A través de las funcionalidades brindadas por la API de *Google Maps* y su implementación en el archivo “googlemaps.jsp”, se señala con un icono, el punto en el mapa donde se encuentra el vehículo según las coordenadas obtenidas de la base de datos y además se despliega la imagen del vehículo y las coordenadas de posicionamiento en una ventana emergente dentro del mapa. La figura 4.20 muestra la posición geográfica del vehículo a través de la aplicación web.



Figura 4.20. Visualización de la posición geográfica en la aplicación web.

En el caso de la aplicación móvil, a través de las funcionalidades brindadas por la API MidMaps para J2ME y su implementación en el archivo “GoogleMapsCanvas.java”, se muestra en la pantalla del dispositivo móvil el mapa con la posición del vehículo señalizada por un icono. La figura 4.21 muestra la interfaces donde se selecciona y se visualiza la opción de consultar posición geográfica.



Figura 4.21. Visualización de la posición geográfica en la aplicación móvil.

El mapa digital implementado en las aplicaciones web y móvil está sujeto a los términos del proveedor, en este caso *Google*.

- **Criterio de Evaluación 6:** este criterio se aplica al caso de uso “Desplegar Recorrido”. A través de las funcionalidades brindadas por la API de *Google Maps* y su implementación en el archivo “googlemaps.jsp”, se traza una línea continua entre las 10 últimas posiciones geográficas obtenidas del vehículo y se señala con un icono la primera y la última para indicar su recorrido. Sobre el último punto en el mapa donde se encuentra el vehículo se despliega en una ventana emergente dentro del mapa, la imagen del vehículo y la información básica del recorrido, como la velocidad, el desplazamiento y el tiempo. La figura 4.22 muestra el recorrido del vehículo a través de la aplicación web.



Figura 4.22. Visualización del recorrido en la aplicación web.

A través de las funcionalidades brindadas por la API MidMaps para J2ME y su

implementación en el archivo “GoogleMapsPathCanvas.java”, se muestra en la pantalla del dispositivo móvil el mapa con el recorrido realizado por el vehículo y se señala con dos iconos su inicio y su fin. La figura 4.23 muestra la interfaces donde se selecciona y se visualiza el recorrido del vehículo desde la aplicación móvil.



Figura 4.23. Visualización del recorrido en la aplicación móvil.

- **Criterio de Evaluación 7:** este criterio se aplica al caso de uso “Despachar Vehículo”. A través de las funcionalidades brindadas por la API de *Google Maps* y su implementación en el archivo “googlemaps.jsp”, se señala con un icono, el punto en el mapa donde se encuentren los cinco primeros vehículos que se reportaron como disponibles para atender determinada solicitud; los cuales fueron ingresados al sistema a través del archivo “barraoperador.jsp”. Una vez iniciado este caso de uso, el sistema calcula la distancia más corta entre las coordenadas de los móviles y la coordenada del lugar de donde proviene la solicitud, trazando una línea continua entre estas dos coordenadas e indicando en la interfaz el ID del vehículo a despachar y la distancia en kilómetros que lo separa del lugar donde se originó la solicitud. La figura 4.24 muestra los elementos de la interfaz que permiten brindar el servicio de despacho vehicular.



Figura 4.24. Elementos de la Interfaz web de HORUS para el despacho vehicular.

El cálculo de la distancia se realiza implementando la fórmula de Haversine⁵⁸ como un método de la clase “HorusManager.java” ubicada en el paquete lógica de la aplicación web.

- **Criterio de Evaluación 8:** este criterio se aplica al caso de uso “Despachar Vehículo”. En el archivo “barraoperador.jsp” se implementaron dos campos de búsqueda para las direcciones de los lugares que requieren la presencia de los móviles; en el primer campo, la búsqueda se realiza ingresando la dirección y en el segundo campo, ingresando un palabra alusiva al lugar que se busca. Una vez ubicada las coordenadas de la dirección en la base de datos, se señala su posición con un icono específico en el mapa y se brinda la posibilidad de visualizar información relacionada con el lugar y una imagen alusiva. La figura 4.25 muestra los elementos implementados en la aplicación web para facilitar la búsqueda de direcciones.

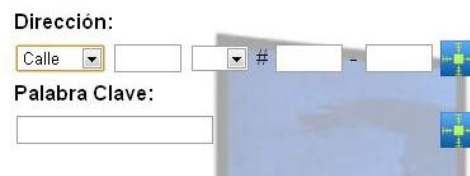


Figura 4.25. Búsqueda de direcciones.

- **Criterio de Evaluación 9:** este criterio se aplica al caso de uso “Despachar Vehículo”. El archivo “mensajesop.jsp” implementado en la interfaz para el despacho vehicular, permite al operador ingresar el ID de un vehículo y un mensaje de máximo 32 caracteres para que sea visualizado por el conductor en el LCD de la unidad móvil. Esta forma de comunicación por datos entre el operador y el conductor es adicional a la comunicación por voz que se puede realizar a través de los micrófonos que vienen con los radios convencionales de dos vías. La figura 4.26 muestra el campo de texto implementado en la interfaz del operador para enviar mensajes a los móviles a través de la aplicación web.



Figura 4.26. Campos de texto para envío de mensajes.

⁵⁸ En la sección A.4.2 del anexo A se amplía este concepto.

- **Criterio de Evaluación 10:** este criterio se aplica a los casos de uso “Consultar Posición Geográfica”, “Desplegar Recorrido” y “Despachar Vehículo”. En el archivo “información.jsp” del paquete vista, esta implementada la interfaz para el despliegue de información al usuario web. A través de tres tablas se pueden observar los datos y las fotos asociados al vehículo, su propietario y su conductor. La figura 4.27 muestra la interfaz web diseñada para tal fin.



Figura 4.27. Interfaz para despliegue de información en la aplicación web.

En el caso de la aplicación móvil se utiliza la clase “InfoForm.java” para desplegar en la pantalla del dispositivo del cliente móvil, únicamente la información más relevante del vehículo y su conductor. La figura 4.28 muestra las interfaces implementadas para desplegar información a través de un dispositivo móvil.



Figura 4.28. Interfaces para despliegue de información en la aplicación móvil.

- **Criterio de Evaluación 11:** este criterio se aplica al caso de uso “Gestionar Información HORUS”. En el archivo “gestionusuarios.jsp”, se incluye un menú de opciones para seleccionar el tipo de usuario a buscar y un campo de texto para ingresar la cedula del usuario, de esta manera e implementando los métodos de búsqueda definidos en la clase “HorusManager.java”, se facilita el proceso de búsqueda de la información asociada a los usuarios. La figura 4.29 muestra los elementos implementados en la interfaz web para facilitar los procesos de búsqueda de usuarios.



Figura 4.29. Elementos de búsqueda para la interfaz de gestión de usuarios.

- **Criterio de Evaluación 12:** este criterio se aplica al caso de uso “Gestionar Información HORUS”. Una vez ubicados los usuarios, es posible modificar la información registrada en la base de datos y en caso de que sea necesario, el administrador podrá eliminar o ingresar un nuevo usuario al sistema a través de los botones incluidos en la interfaz “gestionusuarios.jsp” implementados con este fin. La figura 4.30 muestra los botones implementados para iniciar los procesos de gestión de usuarios.



Figura 4.30. Botones para la gestión de usuarios.

- **Criterio de Evaluación 13:** este criterio se aplica al caso de uso “Gestionar Tareas”. En el archivo “buscar_tareas.jsp”, se implementó un campo de texto para ingresar la fecha con base en la cual se realiza la búsqueda de las tareas asignadas. De esta manera e implementando los métodos de búsqueda definidos en la clase “HorusManager.java”, se muestra una tabla con todas las tareas asignadas en la fecha ingresada como parámetro de búsqueda. La figura 4.31 muestra los elementos implementados en la interfaz web para facilitar el proceso de búsqueda de tareas.



Figura 4.31. Elementos de búsqueda para tareas asignadas.

- **Criterio de Evaluación 14:** este criterio se aplica al caso de uso “Gestionar Tareas”. Una vez ubicada la tarea y el ID que la identifica en el sistema, es posible modificar su información asociada ingresando el ID en el campo de texto implementado en el archivo “gestión_tareas.jsp” y presionando el botón correspondiente a la acción que el administrador desee realizar (modificar, eliminar o agregar una nueva tarea); de esta manera el sistema ejecutará la acción deseada o presentará en pantalla una interfaz que le permita hacerlo mediante otro procedimiento adicional. La figura 4.32 muestra los elementos implementados en la aplicación web para facilitar los procesos de gestión de tareas.



Figura 4.32. Elementos implementados para gestionar tareas.

- **Criterio de Evaluación 15:** Este criterio se aplica al caso de uso “Despachar Vehículo”. Una vez el botón de pánico es activado por el conductor desde la unidad móvil, la

información es transmitida hasta el servidor central donde se crea un nuevo registro en la base de datos, más exactamente en la tabla emergencias, a partir de la cual la aplicación web ubicará en el mapa un icono indicando la posición geográfica donde se presentó la emergencia y una ventana emergente mostrando la imagen del vehículo que activo el botón de pánico.

- **Criterio de Evaluación 16:** En el momento en que los usuarios buscan ingresar al sistema, pueden presentar errores o inconsistencias durante el proceso de validación. Ingresar el nombre de la cuenta de usuario (*login*) o la contraseña (*password*) incorrectamente, mezclar letras mayúsculas con minúsculas y elegir incorrectamente el tipo de usuario, pueden ser unos de los casos que se pueden presentar. Por tal motivo dentro de la interfaz “inicio.jsp” de la aplicación web se utilizan alertas implementadas mediante Java Script para reportar este tipo de errores a los usuarios. La figura 4.33 muestra las alertas implementadas para reportar errores durante el proceso de validación en la aplicación web.



Figura 4.33. Alertas utilizadas para reportar errores durante el proceso de validación en la aplicación web.

En el caso de la aplicación desarrollada para clientes móviles, la notificación de errores en el proceso de validación se realiza mediante alarmas de información, cuya implementación se define en la clase “Splash.java” del paquete vista. Cabe resaltar que el proceso de validación desde el dispositivo móvil, se realiza enviando los datos ingresados por el cliente hasta el servidor central para que este los compare con la información existente en la base de datos y pueda generar según la lógica de la aplicación una respuesta que el dispositivo móvil pueda interpretar. La figura 4.34 muestra las alarmas utilizadas para reportar errores durante el proceso de validación en la aplicación móvil.



Figura 4.34. Alarmas utilizadas para reportar errores durante el proceso de validación en la aplicación móvil.

- **Criterio de Evaluación 17:** Este criterio se aplica a los casos de uso “Consultar Posición Geográfica”, “Desplegar Recorrido” y “Despachar Vehículo”, cuando son iniciados por un administrador o por un operador. La aplicación web desarrollada reporta un error a través de las alertas implementadas mediante *Java Script*, cuando operadores o administradores buscan rastrear un vehículo que no está registrado en el sistema. Según la lógica de la aplicación, los clientes no pueden cometer este tipo de errores debido a que en el momento de validar su ingreso al sistema, automáticamente quedan asociados con el vehículo que aparece registrado en su cuenta. La figura 4.35 muestra las alertas implementadas para reportar errores durante el proceso de localización y rastreo de vehículos en la aplicación web.



Figura 4.35. Alertas utilizadas para reportar errores durante el proceso de localización y rastreo de vehículos en la aplicación web.

En el caso de la aplicación móvil, una vez los datos del cliente han sido validados y se haya autorizado su ingreso al sistema, sólo puede presentarse un error consistente en no poder desplegar la posición del vehículo debido a que el servidor de mapas se encuentre inactivo; en este caso se mostrará una alarma indicándolo. La figura 4.36 muestra la alarma implementada para reportar errores de conexión con el servidor de mapas desde la aplicación móvil.



Figura 4.36. Alarma utilizada para reportar errores de conexión con el servidor de mapas en la aplicación móvil.

- **Criterio de Evaluación 18:** este criterio se aplica al caso de uso “Gestionar Información HORUS”. El Sistema reportará los errores mediante alertas implementadas en *Java Script*, cuando el administrador realice la búsqueda con un número de identificación que no esté registrado en la base de datos o cuando no coincida con el tipo de usuario seleccionado. La figura 4.37 muestra las alertas implementadas para reportar errores en el proceso de búsqueda de usuarios.

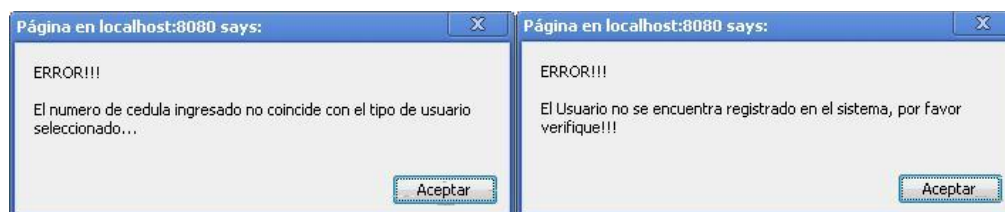


Figura 4.37. Alertas utilizadas para reportar errores en el proceso de búsqueda de usuarios.

- **Criterio de Evaluación 19:** este criterio se aplica al caso de uso “Gestionar Información HORUS”. El Sistema reportará los errores mediante alertas implementadas en *Java Script*, cuando el administrador intente realizar modificaciones en la base de datos que violen los criterios bajo la cual fue diseñada, por ejemplo:
 - Intentar duplicar una clave primaria (Crear un usuario con un *login* ya existente en la base de datos).
 - Intentar crear una fila cuya clave foránea no existe (Registrar un vehículo a nombre de un cliente que no está registrado).

Así mismo también se le notifica al operador mediante alertas, cuando un proceso de modificación o creación de nuevos registros se haya realizado exitosamente. Las figuras 4.38 y 4.39 muestran las alertas implementadas.

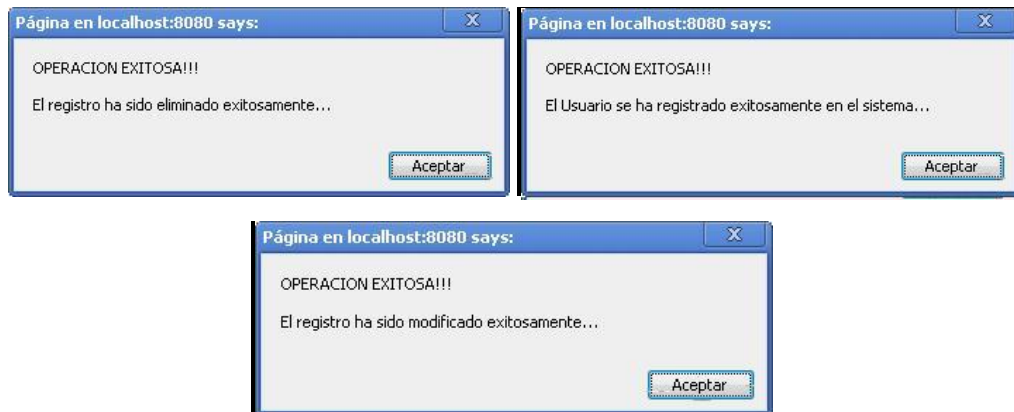


Figura 4.38. Alertas utilizadas para reportar un proceso exitoso durante la gestión de usuarios.



Figura 4.39. Alertas utilizadas para reportar un error durante la gestión de usuarios.

- **Criterio de Evaluación 20:** este criterio se aplica al caso de uso “Gestionar Tareas”. El Sistema reportará los errores mediante alertas implementadas en *Java Script*, cuando el operador realice la búsqueda de tareas con una fecha que no esté registrada en la base de datos. La figura 4.40 muestra la alerta implementada para reportar errores en el proceso de búsqueda de tareas.



Figura 4.40. Alerta utilizadas para reportar errores en el proceso de búsqueda de tareas.

- **Criterio de Evaluación 21:** este criterio se aplica al caso de uso “Gestionar Tareas”. El Sistema reporta los errores mediante alertas implementadas en *Java Script*, cuando el operador intenta realizar modificaciones en la base de datos que violen los criterios bajo la cual fue diseñada. Así mismo también se le notifica al operador mediante alertas cuando un proceso de modificación en la información asociada a una tarea o el ingreso de una tarea nueva se haya realizado exitosamente. Cabe resaltar que a diferencia de la alerta que indica éxito en el proceso de registro de una nueva tarea, las alertas implementadas para notificar errores o éxitos durante el proceso de modificación y eliminación de tareas son iguales que las alertas implementadas durante el proceso de gestión de usuarios. La figura 4.41 muestra la alerta adicional que se implementó.



Figura 4.41. Alerta utilizada para reportar un proceso exitoso durante el registro de una nueva tarea.

- **Criterio de Evaluación 21:** la aplicación desarrollada para los dispositivos móviles implementa un objeto⁵⁹ denominado “Ticker”, por medio del cual se despliegan textos en movimiento sobre cada interfaz que se despliegue en la pantalla del móvil; esto con el fin de explicarle a los clientes los procedimientos que deben seguir para utilizar los servicios que ofrece el sistema. En el caso de la aplicación web no se implementó ninguna opción enfocada en brindar ayuda los usuarios, sin embargo las interfaces se diseñaron de tal forma que los usuarios puedan utilizarlos servicios de HORUS de la manera más sencilla posible.

En la sección A.4.3 del anexo A se mencionan y describen cualitativamente todas las herramientas software utilizadas durante la etapa de implementación y pruebas de HORUS.

⁵⁹ En el paradigma de programación orientada a objetos, un objeto se define como la unidad que en tiempo de ejecución realiza las tareas de un programa.

5

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El trabajo realizado enfocó sus esfuerzos en el diseño e implementación de un sistema prototipo de monitoreo y control vehicular, haciendo uso de la tecnología de posicionamiento GPS. La arquitectura del sistema se dividió en bloques, y se definieron las funciones de cada uno. Con el fin de comunicar los diferentes componentes del sistema se desarrollaron etapas software y hardware que permitieron realizar un buen manejo de la información, y se definió un protocolo de comunicaciones para gestionar el flujo de información del sistema.

En este capítulo se presentan las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros basados en el diseño e implementación del sistema, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

5.1 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos y los análisis realizados en el presente trabajo permiten plantear las siguientes conclusiones:

- El uso de comparadores con histéresis en las etapas de recepción de la unidad móvil y estación central permitió realizar una mejor detección de los bits, disminuyendo el número de bits errados y potenciando el incremento de la velocidad de transmisión de datos del sistema. Además, el uso de la codificación HDB3 permitió hacer un mejor uso del ancho de banda disponible para la comunicación de los radios convencionales de dos vías, y realizar una detección elemental de errores de transmisión sencilla al comprobar las reglas de polaridad de de los impulsos recibidos.
- La definición e implementación de un protocolo genérico de comunicaciones permitió realizar un mayor control sobre la información transmitida a través del sistema, facilitando el enrutamiento de los datos, la identificación del tipo de solicitud o respuesta y la comprobación de errores. Del mismo modo, las tramas

de información enviadas bajo el protocolo de comunicaciones definido permitió al servidor central recibir y procesar la información de posicionamiento obtenida por el módulo GPS con el fin de realizar tareas de localización y trazado de recorrido vehicular.

- El diseño e implementación de tarjetas para la unidad móvil y estación de control permitieron integrar las funcionalidades de un dispositivo GPS, radios convencionales de dos vías y un equipo computacional, llevando a cabo tareas de monitoreo y control vehicular.
- La implementación de un botón de pánico en la interfaz física de la unidad móvil permite al conductor del vehículo reportar una situación de emergencia, a través del envío de un mensaje de alta prioridad hacia la central que es respondido inmediatamente por el operador del sistema.
- La tasa de error de bit (BER) es directamente proporcional a la velocidad de desplazamiento del vehículo, a medida que aumenta la velocidad del móvil se presenta una mayor cantidad de errores en los bits recibidos.
- El uso de antenas omnidireccionales permite al sistema ofrecer mayor cobertura con respecto al uso de antenas directivas, lo cual mejora la eficiencia del sistema al monitorear y controlar los vehículos ya que éstos se desplazan en diferentes direcciones y no a lo largo de una misma zona.
- El funcionamiento de HORUS se ve limitado a la zona de cobertura de señal, sujeta a las características de los elementos que conforman el sistema de comunicaciones, como los radios convencionales de dos vías, tipos y ganancias de antenas, tipos de cable y conectores. Esto reduce la eficiencia de aplicaciones orientadas a la seguridad de vehículos, como el reporte de situaciones de emergencia o la localización de vehículos hurtados.
- La implementación de la Unidad Móvil y la UCCA-EC garantiza la posibilidad de utilizar señales de radiofrecuencia para transmitir datos a través de radios convencionales de dos vías. Una vez adaptadas las unidades a los radios es posible ofrecer los servicios de un sistema LBS a un costo de implementación y mantenimiento menor que el asociado a un sistema LBS que utilice tecnología celular como medio para transmitir la información.
- Una vez garantizada la adaptación y el funcionamiento de los elementos hardware que conforman HORUS y definido el protocolo que permite comunicar los vehículos con la estación central, es posible desplegar servicios de control,

despacho y monitoreo de vehículos, junto con la gestión de la información asociada al sistema, convirtiendo a HORUS un sistema LBS robusto.

- La arquitectura diseñada e implementada en HORUS para el despliegue de servicios, además de permitir la integración de componentes web en el proceso de gestión, control y monitoreo vehicular, permite integrar dispositivos móviles como herramientas para utilizar los servicios ofrecidos por el sistema.
- Dada la evolución de las características de los equipos celulares que actualmente se comercializan en Colombia, es posible fomentar la implementación de servicios web para establecer una comunicación con un servidor a través de dispositivos móviles. La facilidad de utilización de servicios a través de dichos dispositivos, representa una gran ventaja para los usuarios de sistemas LBS como HORUS.
- La implementación de mensajes cortos (SMS) como medio para utilizar algunos de los servicios desplegados por el sistema, incrementan masivamente su uso, debido a que todos los dispositivos móviles que se comercializan en el mercado y la infraestructura de las redes de telefonía móvil celular soportan la tecnología.

5.2 RECOMENDACIONES

- En la implementación hardware de tarjetas es importante hacer uso de elementos apropiados y de buena calidad, que presenten características acordes a las necesidades y funcionalidades del sistema, que faciliten la calibración y uso de los módulos implementados.
- La modularización software y hardware de las etapas del sistema facilita su diseño e implementación, además de facilitar la distribución de funciones y reutilización de las mismas en diferentes fases del desarrollo del proyecto.
- Antes de seleccionar y adquirir los dispositivos que conformarán el sistema deben estudiarse sus ventajas y desventajas, teniendo en cuenta factores como calidad, facilidad de adquisición, soporte técnico, precio y gastos adicionales como aranceles de importación y gastos de envío
- El desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles se ve limitado por las características del dispositivo. Las aplicaciones a desarrollar pueden estar limitadas por sus capacidades (CLDC y MIDP) y la interoperabilidad entre los distintos sistemas operativos y fabricantes.
- A pesar de que las funcionalidades de HORUS son el resultado de una propuesta realizada por sus creadores y que a partir de la solución propuesta pueden surgir

ideas y mejoras para el sistema. Es necesario considerar que en un ambiente real de implementación, se deben analizar los requerimientos del cliente cuando se construye una solución.

5.3 TRABAJOS FUTUROS

El presente trabajo de grado se presenta como referencia para trabajos futuros que busquen implementar mejoras en los sistemas AVL, desarrollando aplicaciones o mejorando las existentes. Para ello se propone:

- Desarrollar un módulo que controle y varíe la velocidad de transmisión de datos, dependiendo de la velocidad de desplazamiento del vehículo, con el fin de disminuir la tasa de errores del sistema. Para tal fin, es necesario mejorar la lógica implementada para programar los microcontroladores de la Unidad Móvil y la UCCA-EC.
- Realizar una evolución de HORUS a partir de la arquitectura propuesta para el despliegue de servicios y de la estructura general del sistema, desarrollando e integrando otro tipo de servicios a partir de la implementación de nuevas interfaces (reporte de emergencias, atención de incidentes, etc.), según los lineamientos de sistemas AVL y CAD. En el capítulo 1, secciones 1.1 Servicios Basados en Localización; y 1.2.2 Sistemas de Despacho Asistido por Computadora (CAD); se mencionan algunas aplicaciones y servicios que podrían ser implementadas en HORUS.
- HORUS solamente involucra sitios de interés en los procesos de localización, rastreo y despacho vehicular. Cabe resaltar que esta información se recolecta únicamente para validar el sistema y no es objetivo de HORUS suministrar información completa sobre la ciudad de Popayán. Como trabajo futuro se plantea realizar una recolección más detallada de la información relacionada con los sitios de interés, para mejorar los procesos de búsqueda y localización de vehículos y lugares sobre los mapas.
- Elaborar un mapa específico para la ciudad de Popayán, permitiría optimizar los procesos de búsqueda y localización; sin embargo, y aunque esto implique modificaciones en la arquitectura diseñada para el despliegue de servicios, evitaría limitarse a las condiciones de un proveedor de mapas externo como *Google*, *Bing*, *Yahoo* o cualquier empresa dedicada a la elaboración y comercialización de Modelos de Elevación Digitales (DEM).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ordnance Survey. *Definition of LBS*. [En línea] 2010. [Citado el: 10 de Febrero de 2010.]
<http://www.ordnancesurvey.co.uk/oswebsite/business/sectors/wireless/news/articles/whatarelbs.html>.
2. LBSpro.com. *Servicios Basados en Localización*. [En línea] 2010. [Citado el: 21 de Mayo de 2010.] <http://lbspro.com/?q=que-son-servicios-localizacion-LBS>.
3. Mobile Info. *Location Based Services*. [En línea] 2009. [Citado el: 6 de Febrero de 2010.]
4. Ordnance Survey. *LBS Applications*. [En línea] 2010. [Citado el: 10 de Febrero de 2010.]
<http://www.ordnancesurvey.co.uk/oswebsite/business/sectors/wireless/news/articles/whatarelbs.html>.
5. Informática Hoy. *Qué son los servicios LBS y LDIS?* [En línea] [Citado el: 23 de Mayo de 2010.] <http://www.informatica-hoy.com.ar/soluciones-moviles/Que-son-los-servicios-LBS-y-LDIS.php>.
6. Mapas.com. *Sistemas de Información Geográfica*. [En línea] 2010. [Citado el: 5 de Marzo de 2010.] <http://www.mapas.com.co/contenidos/sig.htm>.
7. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. *Los Sistemas de Información Geográfica*. [En línea] 2010. [Citado el: 02 de 02 de 2010.] <http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpage=70001> .
8. LBS – Pro. *LBS, servicios de localización, navegación GPS y mapas*. [En línea] 2010. [Citado el: 02 de 02 de 2010.] <http://lbspro.com/?q=NAVTEQ-mapa-peru-colombia>.
9. **L.Martinez, M. Urios**. Tecnologías de Localización y Posicionamiento para Servicios Basados en Localización (LBS). [En línea] 2006. [Citado el: 03 de 02 de 2010.] <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit154/68-70.pdf>.
10. Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, Navegación, y Cronometría por Satélite. *Sistema de Posicionamiento Global al Servicio del Mundo*. [En línea]

2010. [Citado el: 05 de 02 de 2010.] <http://www.gps.gov/spanish.html>. .
11. Fomento.es. *Sistemas GNSS*. [En línea] 2009. [Citado el: 15 de Abril de 2010.] http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Geodesia/gnss/.
12. Gutovnik. *Cómo funciona el GPS?* [En línea] [Citado el: 15 de Febrero de 2010.] http://gutovnik.com/como_func_sist_gps.htm.
13. Agencia Rusa de Información – RIA NOVOSTI. *El sistema GLONASS se pondrá operacional en 2010, pese a la crisis*. [En línea] 2010. [Citado el: 08 de 02 de 2010.] <http://sp.rian.ru/onlinenews/20090410/121045054.html>.
14. Tecnología y Sociedad. *Tecnologías de Localización y Posicionamiento para LBS*. [En línea] [Citado el: 6 de Marzo de 2010.] <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit154/68-70.pdf>.
15. Xataka. *Qué es el A-GPS*. [En línea] [Citado el: 15 de Abril de 2010.] <http://www.xataka.com/moviles/que-es-el-a-gps>.
16. **Uribe, Valeria Emilce**. Universidad Nacional del Nordeste. *Comunicaciones Móviles*. [En línea] 2006. [Citado el: 16 de Febrero de 2010.] <http://exa.unne.edu.ar/depar/areas/informatica/SistemasOperativos/ComunicacionesMovilesValeria.pdf>.
17. **Armstrong, E. H.** *A Method of Reducing Disturbances in Radio Signaling by a System of Frequency Modulation*. 1936.
18. Movitel S.A. *Sistema de Radio Comunicación Convencional*. [En línea] 2005. [Citado el: 15 de Febrero de 2010.] <http://www.movitel.co.cu/index.php?page=detallesServ&serv=3>.
19. Global Telecomunicaciones. *¿Qué son las radiocomunicaciones?* [En línea] 2007. [Citado el: 24 de Enero de 2010.] <http://www.eglobaltel.com/content/view/6/39/>.
20. Monografías. *Sistema Troncalizado*. [En línea] [Citado el: 7 de Febrero de 2010.] <http://www.monografias.com/trabajos65/sistemas-troncalizados/sistemas-troncalizados2..>
21. **Roldán, D.** *Comunicaciones Inalambricas*. Madrid : Afa Omega, 2005.
22. **Ojeda, Luis Gerardo Guerrero**. Apuntes de Telecomunicaciones. *Telefonía*

- Celular*. [En línea] [Citado el: 24 de Marzo de 2010.]
<http://hosting.udlap.mx/profesores/luisg.guerrero/Cursos/IE445/Apunesie445/capitulo4home.htm>.
23. ITS America. *Safety Forum*. [En línea] 2010. [Citado el: 8 de Mayo de 2010.]
<http://www.itsa.org/safetyforum.html>.
24. **M. Rodriguez, J. Fernandez**. *Sistemas de Transporte Inteligente, Vision General y Ejemplos de Aplicación*. [En línea] Septiembre de 2008. [Citado el: 17 de Octubre de 2009.] <http://www.ort.edu.uy/fi/pdf/miltonrodriguezlicsistemasort.pdf>.
25. TecnoProject. *¿Qué es AVL?* [En línea] [Citado el: 7 de Febrero de 2010.]
<http://www.tecnoprojectltda.com/QUEESAVL.htm>.
26. BRAND Seguridad. *¿Que es Rastreo Vehicular?* [En línea] 2010. [Citado el: 01 de 02 de 2010.]
http://www.brandseguridad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=47.
27. Computer Information Systems Inc. *Computer Assisted Dispatch (CAD)*. [En línea] 2002. [Citado el: 27 de 03 de 2010.] <http://www.cisusa.org/Cis/cad.html>.
28. Dispatch Magazine On-Line. *Computer-Aided Dispatch Software Resources*. [En línea] 2010. [Citado el: 12 de 04 de 2010.]
<http://www.911dispatch.com/info/cad/index.html>.
29. Gemini. *"Defición y Clasificación de los Distintos Tipos de Modulación, Regla de Carlson," p. 15*. [En línea] 2006. [Citado el: 3 de Febrero de 2010.]
<http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/jruiz/jairocd/texto/usm/cd/modulacion.doc>.
30. Metodología de diseño de bases de datos. *JSMS Overview*. [En línea] [Citado el: 07 de 08 de 2010.] <http://www.objectxp.com/en/products/jsms/>.